

# 深圳市生活垃圾处理社会总成本分析报告

## 摘要

垃圾处理是城市管理中至关重要的一环，其处理方式科学性与实效性的高低将直接反映政府治理城市的水平。随着社会的发展，城市垃圾产生量与日俱增，对城市管理提出了严峻的挑战。与此同时，全国上下对“垃圾分类”的口号冲动远高于实际行动，致使许多城市垃圾分类工作总存在的问题亟待科学解决。本文在此背景下，从深圳市的实际情况出发，建立深圳市垃圾处理社会总成本核算分析模型，并基于模型分析探讨，对深圳市的垃圾处理提出合理建议。

首先，本文作者实地调查深圳部分小区、垃圾中转站、焚烧厂、填埋厂与政府相关单位，充分沟通相关人员，结合政府文件，厘清深圳市垃圾处理流程与直接处理成本来源，参照《深圳市生活垃圾处理工作志愿者调研笔记》与《北京市城市生活垃圾焚烧社会成本评估报告》进行修改，根据不同的收集和处理方式分别分析城市垃圾处理过程中垃圾分类、收集、运输及处理四个流程中涉及到的社会成本以及间接成本，找出了影响社会总成本的四项大指标（垃圾分类和收集成本、垃圾运输成本、垃圾处理成本、健康成本）、十余项小指标（可回收物和有害垃圾处理成本、焚烧处理成本、填埋处理成本、宣传教育与激励费用等）。通过对各项指标的影响因素的分析，求得其表达式，建立深圳市垃圾处理社会总成本核算分析模型。

其次，本文通过构造正弦函数与二次函数相结合的波动函数，精确预测了未来十年深圳市生活垃圾清运量。进而分析模型内各项指标与时间及其他变量的关系，精确预测各项指标变化（趋势），建立了总成本与时间等变量的关系函数。结合政府公开数据与实地调查数据，利用总成本核算模型，分别计算了现状模式、全量焚烧模式、源头分类收集模式、末端分类混合收集模式四种模式下，当期与未来十年各项指标的精确值及社会总成本，研究了各分项成本所占比例的变化，并分析了各种模式的异同。

最后，基于所得模型，充分考虑深圳市新政策影响，得出深圳生活垃圾分类制度建设的优选模式为源头分类收集 + 湿垃圾生物处理 + 干垃圾焚烧 + 中心城区干垃圾转运。同时，本文作者利用因子分析与通径分析等手段，研究影响深圳市垃圾总量的主要因素，基于真实数据、实地调查，借鉴国外先进经验，得出家庭分类对于社会总成本的减少有显著效果的结论，从而给政府提出了

- 明确职权划分；
- 积极开展公共场合和未成年人宣传教育；
- 大力执行垃圾分类激励政策；
- 增加督导力度；
- 细化垃圾分类并逐步推动家庭垃圾分类

等科学合理、可行性高的建议。

**关键词：** 垃圾处理   社会总成本核算模型   因子分析   通径分析   垃圾分类

## 目录

1 问题重述与分析	4
1.1 问题背景与重述	4
1.2 问题分析	4
2 模型假设	4
3 符号说明	5
4 模型建立与求解	5
4.1 问题一：深圳市城市垃圾处理社会总成本分析模型	5
4.1.1 垃圾分类和收集成本	7
4.1.2 垃圾运输成本	8
4.1.3 垃圾处理成本	9
4.1.4 健康成本	12
4.2 问题二：核算各模式下当期与未来社会成本	12
4.2.1 现状垃圾处理模式：混合收集 + 部分卫生填埋 + 部分焚烧 + 部分简易堆填	14
4.2.2 垃圾处理模式一：混合收集 + 全量焚烧 + 灰渣填埋 + 中心城区垃圾全量转运	20
4.2.3 垃圾处理模式二：源头分类收集 + 湿垃圾生物处理 + 干垃圾焚烧 + 中心城区干垃圾转运	23
4.2.4 垃圾处理模式三：混合收集 + 末端分类 + 湿垃圾生物处理 + 干垃圾焚烧 + 中心城区干垃圾转运	27
4.2.5 四个模式成本对比及各分项成本占比变化	30
4.3 问题三	32
4.3.1 成本效益分析	32
4.3.2 通径分析	34
4.3.3 前端分类对垃圾总成本的影响	36
4.3.4 因子分析	39
4.3.5 建议	41
5 模型优缺点及改进	44
5.1 模型优点	44
5.2 模型缺点	44
5.3 模型推广及改进	45
参考文献	45
附录	46
A 核算成本具体数据	46
B 问卷调查数据	57
C 代码	63

## 1 问题重述与分析

### 1.1 问题背景与重述

近几年，深圳生活垃圾年均增长保持在 6% 以上，2017 年预计达到年 619 万吨。目前，深圳生活垃圾处理方式主要采用焚烧和填埋技术，运行中的垃圾焚烧发电厂有 5 座，处于满负荷状态，填埋场有 3 座，处于超负荷状态。由于人多地少，深圳垃圾处理面临巨大挑战。同时，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》，标志着中国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。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，形成一套科学有效的核算模型尤为重要。

鉴于以上深圳市背景，共提出下面 3 个问题：

问题 1：建立深圳市城市垃圾处理社会总成本分析模型。

问题 2：基于问题 1 得到的模型，核算附件 1 中提及的深圳市生活垃圾处理估算三个模式的当期社会总成本，未来十年的总成本，诸模式下各分项成本比例的变化趋势。

问题 3：基于问题 1、2，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，并根据你的模型和分析结果给政府提出相应的合理建议。

### 1.2 问题分析

针对问题一，根据现在成熟的垃圾处理流程，我们将城市垃圾处理过程分为垃圾分类、垃圾收集、垃圾运输及垃圾处理四个流程，并分别分析各个流程中涉及到的社会成本并建立模型，结合题目本身，在此模型中，我们只考虑深圳市城市生活垃圾处理的社会总成本，并不包括餐饮公司的餐厨垃圾以及工业垃圾等。社会成本（social cost）最早由西斯蒙第在《政治经济学新原理》中提出，目前，社会成本的概念被用来分析各类经济行为对社会造成的影响。社会成本通常指社会因企业生产（消费者消费）而需承担的成本。因而，生活垃圾处理的社会成本是指社会因生活垃圾收集和处置而承担的以市场价为准的全部成本。在构建的分析模型中，社会成本既应包括一定时期由于垃圾处理流程中所需要的各种产品、技术或劳务成本，也应包括整个社会所付出的其他代价成本，例如污染、公害所造成的影响损失，邻避效应带来的社会成本等。同时，在市场经济的大环境下，由于企业等盈亏为企业本身负责，因此除了个体健康损失，在核算社会总成本的过程中我们主要考虑深圳市政府的成本花费及损失，即政府所花费成本可大体估算为社会需要承担的成本。

针对问题二，利用问题一所建立的核算模型，结合相关文件政策以及公开数据，针对附件 1 中的三个模式分别估算未来 10 年的各项成本变化，从而核算出三个模式的当期以及未来十年的社会总成本，并且分析每个模式下各分项成本的变化，得到相应的结论。

针对问题三，基于对现有模式以及附件中提供的三种分类方式的分析，得到各个处理模式的成本变化趋势，结合远期效益权衡利弊后，找出最适合深圳垃圾处理的模式。同时，对各模式做相应的统计分析，找出对成本影响较大的因素，厘清各种变量如何影响总成本。基于问题一二的模型与问题三的深入分析，提出合理的处理建议。

## 2 模型假设

- 假设深圳市统计局、深圳市城管局、国土资源部土地利用管理司、深圳市交通管理所及其附属机构与网站提供的数据准确可靠。
- 假设预测期间无特殊自然灾害与不可抗力使相关设施受损。
- 假设论文中收集到的深圳市垃圾处理相关数据能够代表深圳市垃圾处理实际情况。

- 假设深圳市 2017-2026 年不会有重大垃圾政策变动，不会有人口暴增等极端情况。
- 假设调研的深圳市垃圾处理单位、负责人发言真实可靠。提供的数据能够准确反映当时情形。
- 假设深圳市 2017-2026 年相关垃圾处理设施建造标准与投资费用无巨大变化。
- 假设类比城市与深圳在垃圾处理方面有高相似度。
- 假设预测年限中，深圳市政府职能分发一致，各部门工作高效有序。
- 假设参与调查人群为均匀随机抽样，其回答体现其真实想法。

### 3 符号说明

$C$ 年度生活垃圾处理社会成本	年度城市生活垃圾处理社会总成本
$A$ 单位生活垃圾处理社会成本	单位城市生活垃圾处理社会总成本
$Q$ 年度垃圾清运量	年垃圾清运量
$CCollection$	垃圾分类收集成本
$CTrans$	垃圾运输成本
$CProcessing$	垃圾处理成本
$CHealth$	垃圾处理后污染物排放产生的居民健康损失。
$W$	垃圾处理量
$COthers$	可回收物及有害垃圾的处理成本
$CBurn$	焚烧处理成本
$CLandfill$	填埋处理成本
$CKitchen$	湿垃圾处理成本
$CResident$	邻避效应成本
$\beta$	深圳交通类价格变化率
$\alpha$	邻避指数
$\epsilon_x$	拟合参数
$\varepsilon$	误差项
$Y$	垃圾处理社会总年成本
$Z$	标准化后垃圾处理社会总年成本

### 4 模型建立与求解

#### 4.1 问题一：深圳市城市垃圾处理社会总成本分析模型

我们将城市垃圾处理过程分为垃圾分类、垃圾收集、垃圾运输及垃圾处理四个流程，并分别分析各个流程中涉及到的社会成本并建立模型。在此分析模型中，我们根据不同的收集方式以及处理方式构建模型中的成本，即在利用本模型计算社会总成本的过程中，将根据实际处理模式和收集方式选取模型中相应情况的分项成本进行计算后相加。通过分析四个垃圾处理流程中带来的社会成本构建深圳市城市垃圾处理社会总成本分析模型：垃圾分类和收集过程中涉及到的分类宣传费用、购置垃圾桶费用、人力成本以及垃圾设备维护成本；垃圾运输过程中涉及到的可回收物以及有害垃圾的运输费用、不可回收垃圾的运输费用；垃圾处理过程中涉及到的可回收物和有害垃圾的处理成本、焚烧处理成本、湿垃圾处理成本、邻避效应成本以及环境污染物带来的健康损失。不同的实际

垃圾收集处理方式对应各个流程中不同情况时的成本，例如混合收集时则垃圾分类收集过程中的成本不涉及大部分分类宣传费用以及分类垃圾桶的配置费用；生活垃圾全部焚烧时则垃圾处理过程中不涉及单独的湿垃圾处理成本；生活垃圾干湿垃圾分别处理时则垃圾处理过程中需设计单独的湿垃圾处理成本。

我们具体的思路导图如下：

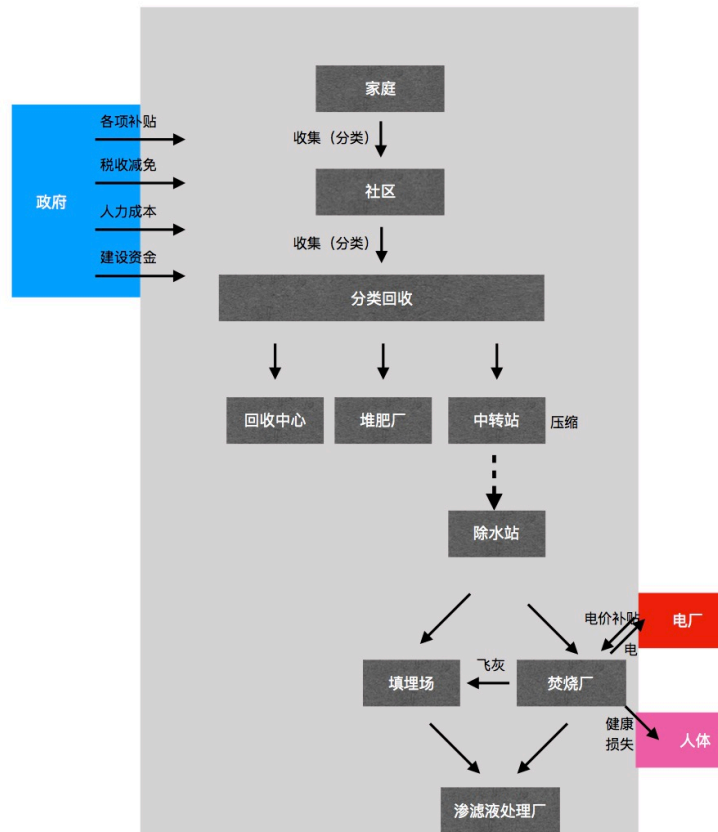


图 1: 垃圾处理流程图

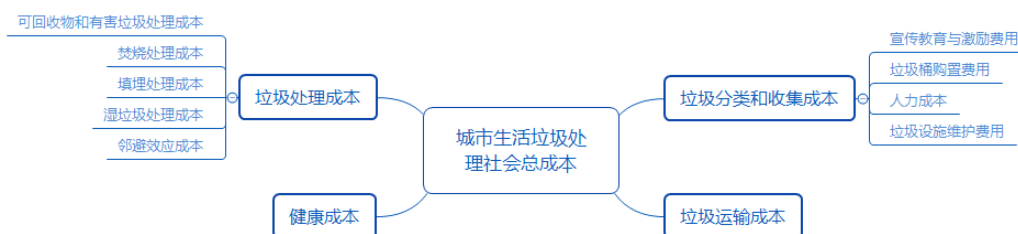


图 2: 社会总成本模型结构

根据以上分类和模型建立年度城市垃圾处理社会总成本 ( $C$ , 单位: 元/年) 计算公式, 另外, 通过年度城市垃圾处理社会总成本与年度垃圾清运量可以获得单位生活垃圾的处理社会总成本 ( $A$ , 单位: 元/年), 公式如下:

$$C_{\text{年度生活垃圾处理社会成本}} = C_{\text{Collection}} + C_{\text{Trans}} + C_{\text{Processing}} + C_{\text{Health}} \quad (1)$$

$$A_{\text{单位生活垃圾处理社会成本}} = \frac{C_{\text{年度生活垃圾处理社会成本}}}{Q_{\text{年度垃圾清运量}}} \quad (2)$$

其中  $CCollection$  为垃圾分类收集过程中产生的社会成本,  $CTrans$  为垃圾运输过程中产生的社会成本,  $CProcessing$  为垃圾处理过程中产生的社会成本,  $CHealth$  为垃圾处理后污染物排放产生的居民健康损失,  $Q_{\text{年度垃圾清运量}}$  为深圳市年生活垃圾清运(产生)量。

#### 4.1.1 垃圾分类和收集成本

垃圾的收集、分类主要是基础设施的购买以及人工的工作, 可分为社区与街道办的分类宣传费用、政府购置垃圾桶费用、人力成本和垃圾设施维护费用。垃圾分类和收集过程中的社会成本(单位: 元/年)表达式为:

$$CCollection = CPublicity + CCan + CLabour + CMaintenance \quad (3)$$

##### 1) 宣传教育以及激励费用 $CPublicity$ (单位: 元/年):

在培养市民的分类意识的同时, 政府相应的也做了不少宣传工作, 包括非电动不锈钢宣传栏购置费用, 宣传册购置费用, 宣传画报费用, 成年人教育(社区宣传活动)费用, 未成年人教育(幼儿园及小学宣传活动)费用。另外, 垃圾分类的激励政策也会花费一部分费用, 在本模型中假设每十户奖励一户。

##### 2) 垃圾桶购置费用 $CCan$ (单位: 元/年):

垃圾投放需要购置大量的垃圾桶, 垃圾桶数量根据人口数量与单位面积内垃圾桶数量决定。垃圾桶购置费用  $Ccan$  表达式如下(根据不同收集方式利用不同子公式计算):

$$CCan = CCan_{standard} + CCan_{extra} \quad (4)$$

若为分类收集垃圾, 则需要购置多分类垃圾桶, 根据深圳市现有政策, 未来一段时间内将推行垃圾三分类, 即可回收垃圾、有害垃圾、其他垃圾(含厨余垃圾), 其计算公式为:

$$CCan_{standard} = \sum_{i=1}^n (W_i * S_i) \quad (5)$$

$$S_i = \frac{P}{R_i} \quad (6)$$

其中  $W_i$  为某种垃圾分类投放箱单价,  $S_i$  为购置某种垃圾箱的数量,  $P$  为设定区域内人口总量,  $R_i$  表示单个某种垃圾箱的使用人数(单位: 人/个)。若为混合收集垃圾, 则公式相同, 但只计算混合投放垃圾箱一种垃圾箱的购置费用。

同时每个垃圾箱有固定的覆盖范围, 按上述标准配置垃圾箱后, 需核算垃圾桶是否覆盖整个区域, 如未完全覆盖, 则在未覆盖区域增加适当数量垃圾箱, 直至覆盖整个区域。若为分类收集, 计算公式为:

$$CCan_{extra} = \sum_{i=1}^n (W_j * S_j) \quad (7)$$

其中  $W_j$  为需补充的某种垃圾分类投放箱单价,  $S_j$  为需补充的某种垃圾分类投放箱数量。若为混合收集垃圾, 则公式相同, 但只计算混合投放垃圾箱一种垃圾箱的补充购置费用。

##### 3) 人力成本 $CLabour$ (单位: 元/年):

包括回收人力成本, 从业人员培训成本, 混合收集模式下的专业分类人力成本, 分类收集模式下的督导人力成本。

对于回收人力成本: 目前的垃圾分类效率极低, 据现场调查垃圾箱分类效果仅能达到 10%, 有害垃圾如废弃电池等回收效果也不理想, 仍有不少混入普通生活垃圾中, 而可回收与不可回收的垃圾分类只能靠受利益驱使的环卫工人与小区保洁完成。经过走访调查深圳市各类型小区与其所在居



委会、街道办与城管科，我们得知人力成本在垃圾分类回收中所占比例极低，可以忽略，故我们基于现实情况，在本模型中不讨论此成本。

对于专业分类人力成本：若采用混合收集的方式，垃圾在收集时需要额外的人力进行垃圾分类。此项计算聘请专业垃圾分类人员对垃圾桶内垃圾进行分类的费用。对于督导人力成本，若采用分类收集模式，本办法为提升分类率的一种方式。不同的督导人力成本会造成不同的社会成本和分类效益。分为免费的志愿者督导和督导岗位的设置费用。

4) 垃圾设备维护费用  $CMaintenance$  (单位：元/年)：垃圾袋的购买的费用

#### 4.1.2 垃圾运输成本

深圳垃圾收运大多数都按照“垃圾收运点收运—垃圾转运站处理—运往末端垃圾处理厂”收运路径。经了解，此运输过程城管局外包至各运输公司运营。在核算此部分成本时，可简单的将成本归算于外包公司的酬劳。但此方法并非核算社会成本的最优途径。

在经过大量的走访分析之后，我们发现此部分的成本主要由燃油费、汽车总值和驾驶员人力成本组成，分别记作  $T_f$ ， $T_r$ ， $T_s$ 。则运输总成本可以表示为：

$$CTrans = T_f + T_r + T_s \quad (8)$$

其中，燃油费与路线长度有关，则为当前油价  $P_f$  与路线总长度  $L$  的乘积。其中路线的长度与垃圾清运总量  $W$ 、垃圾车容量  $C$  和单次运输平均运距  $l$  有关。则有：

$$T_f = P_f * L \quad (9)$$

$$L = ([\frac{W}{C}] + 1) * l \quad (10)$$

汽车总值  $T_r$  为汽车的现有价值。即：

$$T_r = V_i * f^n * m \quad (11)$$

其中  $V_i$  为汽车购入价格， $f$  为折旧率， $n$  为使用年限， $m$  为运输车保有量。因运输车保有量通常为定值，在垃圾增长平稳时不会突然大批量采购。固计算时不随垃圾生产总量动态浮动。同时汽车总值在和核算时因在规划之处算入维修费用（包括各设备保养，轮胎固定更换等），故在此不列出。据了解，驾驶员人力成本  $T_s$  包括驾驶员的保险费用，每月工资费用以及各种税收项目等。因主要数据为工资，并与其行驶路程总量有关。固此处公式可简单处理为以下公式，其中  $T_{as}$  为平均每公里驾驶员人力成本：

$$T_s = T_{as} * L \quad (12)$$

实际计算过程中，根据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，其中该成本已包括了中转站的运营成本以及人工成本等。因此，收运成本与运距相关。不同的垃圾分类或处理模式对应不同的垃圾处理中心，如焚烧厂，填埋场或厨余垃圾处理中心等，因此运输成本会根据不同分类处理模式而对应的末端处理中心数量及位置的变化而变化。记当期深圳交通类价格与目前深圳交通类价格相比较，变化率为  $\beta$ 。由于可回收物和有害垃圾的运输与处理通常由政府将整个过程外包给企业，区别于不可回收垃圾的运输处理，因此在运输成本中我们只考虑不可回收垃圾的运输成本，可回收物和有害垃圾的运输成本包含在之后提及的处理过程



中的可回收物和有害垃圾的处理成本当中。因此实际核算中深圳市不可回收垃圾（包括厨余垃圾）的运输成本（单位：元/年）表达式如下：

$$CTrans = \sum_{i=1}^n CTrans_i \quad (13)$$

$$CTrans_i = \begin{cases} 60 * (1 + \beta) * W_i & \text{if } length_i \leq 10km \\ 60 * (1 + \beta) * W_i + (length_i - 10) * W_i * 1 * (1 + \beta) & \text{if } 10km < length_i \leq 20km \\ 70 * (1 + \beta) * W_i + (length_i - 20) * W_i * 1.5 * (1 + \beta) & \text{if } length_i > 20km \end{cases} \quad (14)$$

其中， $length_i$  代表第  $i$  个末端垃圾处理中心到该垃圾处理中心垃圾来源的不同区域中心的平均距离，单位为公里， $W_i$  代表第  $i$  个末端垃圾处理中心所接收的每年垃圾总量，单位为吨， $CTrans_i$  代表垃圾到第  $i$  个末端垃圾处理中心的每年运输成本，单位为元， $CTrans$  代表深圳市所有不可回收垃圾（包括厨余垃圾）的每年运输成本。

#### 4.1.3 垃圾处理成本

垃圾处理过程中，包括可回收物和有害垃圾的处理成本（包含运输费用）、焚烧处理成本、填埋处理成本、湿垃圾处理成本和邻避效应成本，表达式如下（单位：元/年）：

$$CProcessing = COthers + CBurn + CLandfill + CKitchen + CResident \quad (15)$$

1) 可回收物及有害垃圾的处理成本（包含运输费用） $COthers$  由于在调研和询问过程中我们了解到高附加值可回收物已经通过市场杠杆自发消纳，因此对于有害垃圾和可回收物的运输社会成本计算中，只需要把低值可回收物以及有害垃圾的社会运输及处理成本计算在内。《深圳市生活垃圾强制分类工作方案》中提出“深圳政府委托有收运处理资质的企业分类收运处理有害垃圾；深圳政府将通过财政补贴、购买服务等方式，积极拓宽再生资源回收范围，打通低价值可回收物的产业链。至 2017 年底前深圳将出台大件垃圾、低价值可回收物回收处理补贴标准。”因此在估算低值可回收物以及有害垃圾的运输及处理成本过程中，由于企业内部成本数据在目前信息公开的条件下难以获得，而低值可回收物处理厂的内部成本与内部收益之差，应为公共财政支付的所有补贴及费用之和，因此，在企业收益率 10% 以下的情况下，公共财政支出可用于估计内部成本。此外《深圳市生活垃圾强制分类工作方案》中提及“有害垃圾和可回收物暂存一定量后，物业服务企业或管理责任单位应通知专业收运企业上门收运。专业收运企业应提供有害垃圾、可回收物免费预约回收服务，每月至少巡回收运一次。”因此我们将政府对委托企业的补贴量之和估算为有害垃圾和可回收垃圾的处理成本（包含运输费用） $COthers$ ，单位为元/年。

2) 焚烧处理成本  $CBurn$  生活垃圾焚烧处理成本包括：垃圾焚烧厂占用的土地成本；建设垃圾焚烧厂政府的投资成本；垃圾焚烧厂单位垃圾处理费，其中垃圾处理费补贴中包含了污染物和渗滤液处理补贴，飞灰补贴，企业的管理及运行补贴等费用；垃圾焚烧厂电价补贴费用；税收减免费用。

3) 填埋处理成本  $CLandfill$  生活垃圾填埋处理成本包括：垃圾填埋厂占用的土地成本；建设填埋场政府的投资成本；飞灰填埋成本，其中每 100 吨焚烧的垃圾会产生 2 吨的飞灰，飞灰无法用于城市建设，只能填埋处理。在填埋场会有单独的一片区域专门用于飞灰的填埋，费用包含在填埋场的固定费用中；垃圾填埋场单位垃圾处理固定费用，其中填埋场固定费用包括飞灰处理费用以及过量垃圾的填埋费用，因此填埋场固定费用为飞灰处理单价和单位垃圾填埋费用之和；除臭费用，因填埋场内产生臭气较多，处理厂在除臭方面投入较大，此项目外包给别的公司。

4) **湿垃圾处理成本**  $CKitchen$  《2015 深圳生活垃圾基础数据调查报告》中提及“现在深圳市已经开展了餐厨垃圾单位单独收运处理工作，后运送至餐厨垃圾综合利用设施统一处理，但主要对象是餐饮企业，并且没有普及到全市，还有待完善，但这对于垃圾分类收集很有借鉴意义，生活垃圾中厨余部分可以采用这种方式处理。”因此若干湿垃圾分开回收处理且湿垃圾的处理由餐厨垃圾综合利用设施统一处理，则湿垃圾处理成本包括：厨余垃圾处理厂占用的土地成本；建设厨余垃圾处理场政府的投资成本；单位厨余垃圾处理费，其中垃圾处理费补贴中包含了污染物和渗滤液处理补贴，企业的管理及运行补贴等费用；厨余垃圾处理厂电价补贴费用；税收减免费用；除臭费用，因厨余处理中心内产生臭气较多，在除臭方面投入较大，此项目外包给别的公司。另外，若在垃圾处理中段进行干湿分类，则通过人工分拣或垃圾压榨技术实现干、湿垃圾分离，即在末端垃圾处理方式上多加预处理的分类步骤，成本包括：生活垃圾超高压干湿分质分类技术以及设施投资成本  $CInvest$ ，单位元/吨日处理规模；生活垃圾超高压干湿分质分类机器维护费以及人工费用补贴  $CProceed$ ，单位元/吨。则深圳垃圾末端分类每年的成本表达式（单位：元）为

$$Classify = \sum_{i=1}^n Classify_i \quad (16)$$

$$Classify_i = \frac{CInvest * Scale_i}{30} + CProceed * W_i \quad (17)$$

其中  $W_i$  为第  $i$  个处理中心的年厨余垃圾处理量，单位为吨； $Scale_i$  为第  $i$  个处理中心的日处理规模，单位为吨；30 指以厨余垃圾处理项目 30 年的使用寿命折旧； $Classify_i$  为第  $i$  个处理中心的每年末端分类成本费用，单位元。在实际核算中，结合深圳市具体数据，加入末端分类步骤的湿垃圾处理成本相比原始湿垃圾处理成本估算为在原单位厨余垃圾处理费的基础上增加 35% 的费用，其余分项成本不变。

5) **邻避效应成本**  $CResident$  查阅资料后我们发现垃圾场属于典型的邻避效应建筑设施，即该设施的建立会维护公共利益，但是会损伤一部分周边居民的利益，而他们会因此反对此项设施的建立。因此在垃圾处理过程中，为了补偿此部分居民的利益损失，避免邻避效应对项目和公共利益产生实质性的影响，邻避效应产生的损失以及成本也需要考虑在垃圾处理成本内。邻避效应产生的损失成本  $Cost$  与邻避指数存在某种线形关系，建立其表达式如下：

$$Cost = \alpha \sum_{i=1}^n (k_i * Loss_i) \quad (18)$$

其中  $\alpha$  代表邻避指数， $Loss_i$  代表因为建设垃圾处理场会造成的损失， $k_i$  代表此项损失和建造垃圾场的相关指数。 $Loss$  中包括人均消费水平的下降，固定资产的现有价值的贬值，人均创造价值的下降，生活成本的增加，治安费用的增加，善后宣传的费用和善后建设的费用等等。实际计算中，邻避效应成本可以用政府给垃圾处理厂周围居民的补贴量估算邻避效应带来的社会损失成本。

实际核算中垃圾处理成本的各分项成本计算公式汇总如下表：

成本类别	项目	公式	说明
可回收物和有害垃圾处理成本 COthers	总公式	$COthers = MRW * ReW + MHW * HaW$	MRW: 政府对于处理低值可回收物企业的补贴量, 单位为元/吨; MHW: 政府对于处理有害垃圾企业的补贴量, 单位为元/吨; ReW 和 HaW: 分别为深圳市每年产生的可回收垃圾以及有害垃圾的量, 单位为吨
焚烧处理成本 CBurn	总公式	$CBurn = \sum_{i=1}^n CBurn_i$ $CBurn_i = Land_i + \frac{Invest_i * Scale_i}{50} + BProceed * BW_i + E_i + T_i$	$Land_i$ : 第 i 个焚烧厂的年土地机会成本; $Invest_i$ : 第 i 个焚烧厂的政府投资费用, 单位元/吨日处理规模; $Scale_i$ 为第 i 个焚烧厂的日处理规模, 单位为吨; 50 指以垃圾焚烧处理项目 50 年的使用寿命折旧; $BW_i$ 为第 i 个焚烧厂的年垃圾处理量, 单位为吨; $BProceed$ : 深圳市单位垃圾焚烧处理费, 单位元/吨; $E_i$ 和 $T_i$ : 分别为第 i 个焚烧厂的电价补贴费用和税收减免费用; $CBurn_i$ : 第 i 个焚烧厂的每年处理成本, 单位元
	土地成本	$Land = U * S * \frac{\beta * (1 + \beta)^n}{(1 + \beta)^n - 1}$	$U$ : 当年地价; $S$ : 土地面积; $\beta$ : 折现率; $n$ : 工业用地 50 年
	电价补贴	$E = E_{\text{上网电价补贴}} + E_{\text{超额供电补贴}}$	
	税收减免	$T = \sum_{i=1}^n T_i$	$T_i$ : 企业所得税、营业税、增值税等减免
填埋处理成本 CLandfill	总公式	$CLandfill = \sum_{i=1}^n CLandfill_i$ $CLandfill_i = Land_i + \frac{Invest_i * Scale_i}{20} + LProceed * LW_i + De$	$Land_i$ : 第 i 个填埋场的年土地机会成本; $Invest_i$ : 第 i 个填埋场的政府投资费用, 单位元/吨日处理规模; $Scale_i$ 为第 i 个填埋场的日处理规模, 单位为吨; 20 指以垃圾填埋处理项目 20 年的使用寿命折旧; $LW_i$ 为第 i 个填埋场的年垃圾处理量, 单位为吨; $LProceed$ : 深圳市填埋场单位垃圾处理固定费用, 单位元/吨; $De$ : 填埋场每年除臭费用, 单位元; $CLandfill_i$ : 第 i 个填埋场的每年处理成本, 单位元
	土地成本	同焚烧处理土地成本公式	
湿垃圾处理成本 CKitchen	总公式	$CKitchen = \sum_{i=1}^n CKitchen_i$ 未加入末端分类的湿垃圾处理成本: $CKitchen_i = Land_i + \frac{Invest_i * Scale_i}{30} + KProceed * KW_i + E_i + T_i + De$ 加入末端分类的湿垃圾处理成本: $CKitchen_i = Land_i + \frac{Invest_i * Scale_i}{30} + KProceed * 1.35 * KW_i + E_i + T_i + De$	$Land_i$ : 第 i 个厨余垃圾处理中心的年土地机会成本; $Invest_i$ : 第 i 个厨余垃圾处理中心的政府投资费用, 单位元/吨日处理规模; $Scale_i$ 为第 i 个厨余垃圾处理中心的日处理规模, 单位为吨; 30 指以厨余垃圾处理项目 30 年的使用寿命折旧; $KW_i$ 为第 i 个厨余垃圾处理中心的年垃圾处理量, 单位为吨; $KProceed$ : 深圳市单位厨余垃圾处理费, 单位元/吨; $E_i$ 和 $T_i$ : 分别为第 i 个厨余垃圾处理中心的电价补贴费用和税收减免费用; $De$ : 厨余垃圾处理中心每年除臭费用, 单位元; $CKitchen_i$ : 第 i 个厨余垃圾处理中心的每年处理成本, 单位元
	土地成本	同焚烧处理土地成本公式	
	电价补贴	同焚烧处理电价补贴公式	
	税收减免	同焚烧处理税收减免公式	
邻避效应成本 CResident	总公式	$CResident = \sum_{i=1}^n CResident_i$ $CResident_i = Resident * W_i$	$Resident$ : 政府给予垃圾处理厂周围所有居民的单位垃圾量补贴总额, 单位元/吨; $W_i$ : 第 i 个垃圾处理厂的年垃圾处理量, 单位为吨; $CResident_i$ : 第 i 个垃圾处理厂的每年邻避效应成本, 单位元

表 1: 垃圾处理成本的各项成本实际核算公式汇总

#### 4.1.4 健康成本

研究表明，在有含氯物质和金属存在的情况下，有机物的燃烧均会有二噁英产生。经过实际调查和数据查找，我们发现实际情况中，深圳市垃圾处理厂产生的大气污染物和水污染物以及噪音的影响都很小，排放标准已优于欧盟标准，因此在本模型中，只考虑有害物质二噁英产生的居民健康损失。参考《北京市城市生活垃圾焚烧社会成本报告》中对二噁英物质健康损失的评估，建立健康损失成本模型。表达式如下：

$$CHealth = \sum_{i=1}^n Canrisk_i * dens * A_i * (Cost_l + Cost_c) \quad (19)$$

其中  $i$  为不同浓度区域的编码， $Canrisk_i$  为不同浓度区域的二噁英致癌风险， $dens$  为每平方公里人口密度， $A_i$  为不同浓度区域所占的面积， $Cost_l$  为个体生命价值， $Cost_c$  为个体治疗费用。

虽然健康损失核算在污染源、排放、扩散、暴露等估计都存在不确定性，但依然是成本较低、解释性强的衡量方法。因为，污染物监测方法的成本更高，且难以监测到低于一定限值的污染物，而流行病学统计方法无法解释污染物排放与发病率的关系。本次健康成本的计算因得不到各地区的二噁英浓度，因此类比北京的情况得到结果。在真实的计算中，应将受影响区域分割成多个不同二噁英浓度的小区域，考虑每个地区的二噁英浓度、该区域人口密度以及个体生命价值和个体治疗费用，得到每个小区域的健康成本，最后累加求和得到健康总成本。

#### 4.2 问题二：核算各模式下当期与未来社会成本

针对附件一《深圳生活垃圾处理工作志愿者调查笔记》的三种模式，我们根据之前建立的深圳市生活垃圾社会总成本模型进行当期和未来十年的成本估算。首先我们利用 2000 年至 2016 年的深圳市垃圾清运量预测未来十年的垃圾清运量。

2000 年至 2016 年深圳市年生活垃圾清运量变化如下图所示。

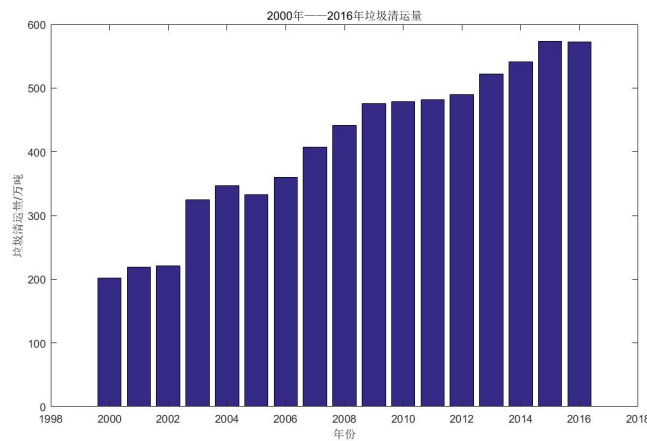


图 3: 2000 年至 2016 年深圳市年生活垃圾清运量

首先考虑到垃圾量和当年的社会状况有关，比如 GDP、人口等因子，所以考虑用神经网络训练因子，输出垃圾量；但是对于未来的预测，还是要先预测出因子的大小，再将预测出的因子带入预测模型，可信度较差，因此直接对垃圾量的一维数列进行预测。其次，垃圾量随时间变化，因此考虑采用时间序列模型进行预测，结果是虽然 2000 年到 2016 年的垃圾量拟合度较高，但是预测值中出现较大波动甚至负值，与实际情况严重不符。其次由于数据较少，所以尝试采用灰度预测法。灰度预测的预测图如图三所示。

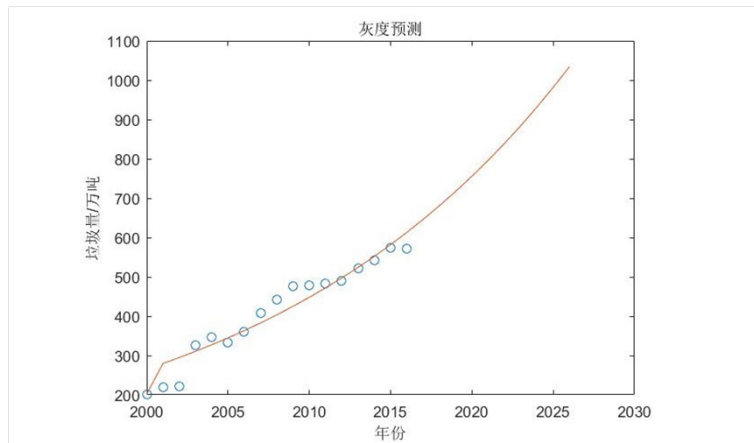


图 4: 灰度预测结果

从图三中可以看出，灰度预测拟合效果较差，无法体现垃圾量的波动上升性质。因此，可以构造一个波动上升的函数，并利用已知垃圾量进行拟合。最终我们构造函数如下：

$$y = a * (\sin(x - \pi i)) + b * (x - 10)^2 + c \quad (20)$$

其中采用正弦函数与二次函数相加可以很好的体现垃圾量波动上升的性质。其中  $y$  为年垃圾清运量，单位：万吨/年， $x$  为年份。因此我们根据所构造出的函数利用 MATLAB 进行拟合和预测。拟合出的相关参数为： $a$  为 10.48（95% 置信区间：(-8.465, 29.42)）； $b$  为 0.005862（95% 置信区间：(0.005168, 0.006556)）； $c$  为 -29900（95% 置信区间：(-25760, -20220)）。拟合效果评价参数为： $SSE$  为 9253； $R$ -square 为 0.9613； $AdjustedR$ -square 为 0.9558； $RMSE$  为 25.71。预测结果效果如下图：

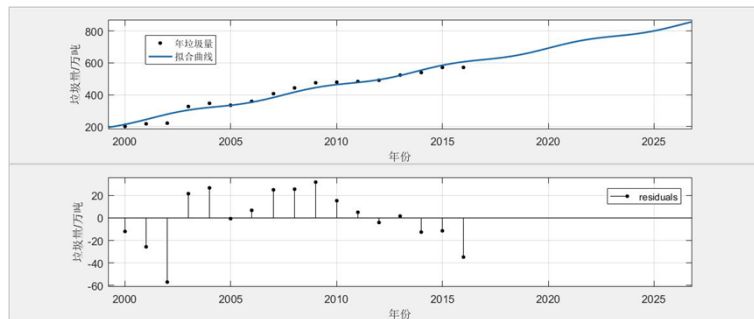


图 5: 构造函数预测的结果与效果

从预测的结果与效果可以看出构造出的函数表现较好。另外，由于垃圾清运量有很强的随机性且与社会的政策和发展有关，我们将预测出来的未来 10 年的垃圾清运量加入随机数干扰项，范围为 (-3, 3)。加入干扰项之后的未来十年清运量为下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
垃圾清运量（单位：万吨）	619.0333	638.3095	657.5232	693.3746	726.5865	750.8435	762.9222	778.4989	798.7994	832.5003

表 2: 深圳未来十年垃圾清运量

另外，在可回收物的组分中，根据《2015 年的深圳生活垃圾基础数据统计》中对纸类和橡塑类可回收物的数据，在统计实际可回收物组分时，去除纸类中的卫生纸，橡塑类中的塑料袋组分取其 30%，统计出的纸类实际可回收物占比和橡塑类实际可回收物占比分别为 64.85% 和 38.8%，具体数据如下表所示：



处理设施	纸类				橡塑类		
	卫生纸	办公纸类	纸盒类	利乐包	塑料袋	塑料包装	塑料瓶
占生活垃圾比例平均值	4.66	4.29	3.46	0.85	13.48	1.61	0.33
纸类中实际可回收物占比			0.648567	橡塑类中实际可回收物占比			0.388067

表 3: 深圳垃圾可回收物占比数据

另外，通过对比 2000 年至 2015 年的深圳市垃圾组分，可以发现在目前混合收集的状态下，深圳市所有生活垃圾中的厨余垃圾和可回收物的占比量近三年来保持较稳定的状态，考虑到近几年深圳市的发展以及影响生活垃圾中组分占比的因素，我们采用近三年即 2013-2015 年的占比均值作为未来十年的厨余垃圾和可回收物占比基数，并且利用算出的纸类和橡塑类实际可回收物占比得到最终的实际可回收物占比基数。其中 2010 年至 2015 年的深圳市垃圾组分变化以及近三年均值如下表：

	厨余	灰土	砖瓦陶瓷	纸类	橡塑	纺织物	玻璃	金属	木竹
2010	50.54	0.22	2.02	15.13	20.82	7.13	2.3	0.43	1.31
2011	53.1	0	1.09	17.1	19.91	3.43	1.68	0.35	3.21
2012	50.42	1.1	0.85	15.54	19.86	4.74	1.53	0.49	3.77
2013	56.35	0.03	1.64	14.08	15.05	8.94	2.31	0.57	0.92
2014	57.9	0.19	1.01	14.08	15.24	6.43	3.31	0.67	0.93
2015	58.12	0.17	1.43	13.3	15.4	7.12	2.33	0.77	0.95
后三年均值	57.46	0.13	1.36	13.82	15.23	7.4967	2.65	0.67	0.93

表 4: 深圳市垃圾组分占比变化

因此，取 57.46% 作为厨余垃圾占比基数。另外，可回收物组分为纸类、橡塑类、纺织物、玻璃和金属，利用之前算出的纸类和橡塑类实际可回收物占比得到最终的实际可回收物占比基数为 25.69%。由于考虑到厨余垃圾占比以及可回收物占比的随机性以及其与社会的政策和发展有关，我们将占比基数加入随机数干扰项，范围为  $(-2.5\%, 2.5\%)$ 。加入干扰项之后的未来十年厨余垃圾占比以及可回收物占比为下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
厨余垃圾占比	0.554833	0.597595	0.5497	0.5882	0.5903	0.5929	0.5537	0.5694	0.5624	0.5895
可回收垃圾占比	0.2372	0.2799	0.2321	0.2706	0.2727	0.2753	0.2361	0.2518	0.2448	0.2719

表 5: 深圳未来十年厨余垃圾占比以及可回收物占比

经了解，深圳市目前准备引入新技术，将湿垃圾用厨余垃圾处理方式（即厌氧发酵系统）处理后，加入多相分解惰质化的环节，使部分湿垃圾含水量达到焚烧要求，最后进入焚烧环节。该项技术可以运用于所有分类处理模式，即干湿垃圾分类之后，增添一项新的压缩水技术使部分湿垃圾达到焚烧要求进行焚烧，其增加的成本为此新技术的运行成本，约为 40 元/吨，此外可以直接根据变化的垃圾焚烧量带入核算模型进行加入新技术的处理成本的核算。由于该项技术的引入不会对以下四种处理模式的比较造成有效影响，故仅单列出。

#### 4.2.1 现状垃圾处理模式：混合收集 + 部分卫生填埋 + 部分焚烧 + 部分简易堆填

现状处理模式为前端厨余垃圾与不可回收垃圾混合在一起收集，可回收垃圾并不强制分类回收，垃圾为部分焚烧处理，部分进行卫生填埋处理，运输为中心城区垃圾全量转运。另外，由于是前端混合收集，末端也未分类，因此厨余垃圾中的分离比例为 0，可回收垃圾的回收比例由于社会



的发展会有小范围上涨,2017-2018 年可回收垃圾中的回收比例为 0,2019-2024 年可回收垃圾中的回收比例为 0.05,2025-2026 年为 0.1,如下表所示:

年份	垃圾清运量 (单位:万吨)	厨余垃圾占比	可回收垃圾占比	厨余垃圾分离比例	可回收垃圾回收比例
2017	619.0333	0.554833	0.2372	0	0
2018	638.3095	0.597595	0.2799	0	0
2019	657.5232	0.5497	0.2321	0	0.05
2020	693.3746	0.5882	0.2706	0	0.05
2021	726.5865	0.5903	0.2727	0	0.05
2022	750.8435	0.5929	0.2753	0	0.05
2023	762.9222	0.5537	0.2361	0	0.05
2024	778.4989	0.5694	0.2518	0	0.05
2025	798.7994	0.5624	0.2448	0	0.1
2026	832.5003	0.5895	0.2719	0	0.1

表 6: 混合收集模式下厨余垃圾分离比例和可回收物回收比例

### 1) 前端分类收集成本核算

利用模型中的成本核算公式估算现状模式中前端分类收集成本。其中由于现状采用混合收集的方式,因此忽略宣传教育与激励费用  $CPublicity$  和人工分类费用  $CLabour$ 。混合收集模式下前端收集费用主要在垃圾桶的购置和维护上,在具体核算中由于垃圾袋的费用占比较小因此忽略维护费用。

混合收集模式下垃圾桶只分可回收垃圾及其他垃圾,所以每处购置点放置两个混合垃圾桶。另外,垃圾桶的分布是根据城市规划的要求,国家法规《城市环境卫生设施规划规范 GB 50337-2003》中规定,废物箱的间距应该按照《城市环境卫生设施设置标准》进行设置,文件中规定要固定供居民使用的生活垃圾容器,以及袋装垃圾收集堆放点的位置要固定。生活垃圾收集点的服务半径一般不应超过 70m。在规划建设新住宅区时,未设垃圾管道的多层住宅一般每四幢设置一个垃圾收集点,并建造生活垃圾容器间,安置活动垃圾箱(桶)。各类垃圾容器的容量按使用人口、垃圾日排出量计算。垃圾存放容器的总容纳量必须满足使用需要,避免垃圾溢出而影响环境。废物箱的设置间隔规定如下:

1. 商业大街设置间隔 25-50m;
2. 交通干道设置间隔 50-80m;
3. 一般道路设置间隔 80-100m。

针对上述文件,在经过多方咨询后我们使用如下公式对垃圾桶成本进行核算。

$$\text{混合模式下垃圾桶成本} = 2.5 \text{ 年寿命垃圾桶成本} / 2.5 + 5 \text{ 年寿命垃圾桶成本} / 5 \quad (21)$$

其中

$$\begin{aligned} 2.5 \text{ 年寿命垃圾桶 (塑料桶) 成本} = & \text{小区数} * \text{某种桶 } i \text{ 单价} * \text{某种桶 } i \text{ 数量} \\ & + \text{道路长度} * \text{需要安放垃圾桶的修正系数} \\ & * 2 / \text{每个桶间距} * \text{塑料桶比例} \\ & + \text{各类学校数} * \text{垃圾桶数量} * \text{单价} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} 5 \text{ 年寿命垃圾桶 (金属桶) 成本} = & \text{小区数} * \text{某种桶 } i * \text{某种桶 } i \text{ 数量} \\ & + \text{道路长度} * \text{需要安放垃圾桶的修正系数} \\ & * 2 / \text{每个桶间距} * \text{金属桶比例} \\ & + \text{各类公共区域数} * \text{垃圾桶数量} * \text{单价} \end{aligned} \quad (23)$$

参考隋玉梅、李振山等人的《北京市生活垃圾分类小区垃圾桶配置的模拟计算》<sup>[5]</sup>，并根据深圳的情况进行修改，不同的垃圾分类率对应的各类场所需垃圾桶数量如下表所示 (单位: 个)，其中混合收集模式下垃圾分类率为 0，选取分类率为 0 对应的各场所所需垃圾桶数量。

城市场所	分类率为 0 时所需垃圾桶数量	分类率为 20 时所需垃圾桶数量	分类率为 50 时所需垃圾桶数量	分类率为 80 时所需垃圾桶数量	分类率为 100 时所需垃圾桶数量
学校	100	106	112	120	124
小区	42	45	42	42	42
写字楼	52	56	60	68	72
事业区	33	36	40	44	48
宾馆	21	24	23	24	28
商场	50	58	66	76	80

表 7: 不同垃圾分类率对应的各场所所需垃圾桶数量

其中，根据《2016 年深圳市统计年鉴》，核算过程中所需要的数据如下表，

户数	小区数	混合垃圾桶 660L 单价 (元)	混合垃圾桶 240L 单价 (元)	其他垃圾桶 120L 单价 (元)	垃圾袋单价 (元)	户外金属果皮箱 120L 单价 (元)	公园数	道路长度 (km)
5584821.42	5769	780	173	145	1.8	298	911	6447
普通中学数	环卫工人 数	公厕数	写字楼数量	商场数量	事业区数量	星级酒店数量	普通高等院校数量	中等职业教育 学校数量
335	25000	2620	1000	1000	1000	136	12	15

表 8: 核算过程所需深圳市数据

根据上述数据和核算方法，混合收集模式下当期和未来 10 年的垃圾收集费用即  $CCollection$  (单位: 元) 如下表所示:

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CCollection$	61768784	63004160	64264243	65549528	66860518	68197728	69561683	70952917	72371975	73819415

表 9: 混合收集模式下当期和未来 10 年的垃圾收集费用

## 2) 运输成本核算

生活垃圾中除去回收的可回收物以及分离的厨余垃圾之外，现状模式中剩下的生活垃圾一部分进行焚烧，一部分进行卫生填埋。由于深圳市目前计划建设新的焚烧厂，因此未来十年内垃圾中的焚烧比例会有所上升，但仍有一部分进行卫生填埋，另外，根据《2015 年深圳市生活垃圾基础数据统计》可知，目前状况下垃圾焚烧比例占到 50%，因此依据实际情况设置焚烧比例，剩余的即为填埋比例。现状模式的当期及未来十年的焚烧比例如下表：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
垃圾焚烧量比例	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7

表 10: 现状模式的当期及未来十年的焚烧比例

因此根据现状模式的厨余垃圾分离比例、可回收物的回收比例以及焚烧量比例，可核算得出现状模式情况下年处理厨余垃圾量（单位：吨），年焚烧垃圾量（单位：吨）以及年垃圾填埋量（单位：吨），另外随着垃圾焚烧量和填埋量的增加，深圳市需要在未来 10 年内新建垃圾焚烧厂和填埋场以满足部分焚烧需求，因此根据日垃圾焚烧量和填埋量可核算出相应的深圳市所需日垃圾处理规模，相应地得到未来 10 年内所需要新建的焚烧厂和填埋场的数量。现状模式的相应数据如下：

年份	日处理厨余垃圾量	日垃圾焚烧量（吨）	垃圾焚烧厂	焚烧厂日处理规模（吨）	日垃圾填埋量（吨）	垃圾填埋厂
2017	0	8479.908219	现有 4 个	9000	8479.908	现有 4 个
2018	0	8743.965753	现有 4 个	9000	8743.966	现有 4 个
2019	0	10683.16674	现有 4 个 + 新建 1 个	12800	10683.17	现有 4 个
2020	0	11243.72452	现有 5 个 + 新建 2 个	17425	11243.72	现有 4 个 + 新建 2 个
2021	0	11781.03276	7 个	17425	11781.03	6 个
2022	0	12172.73654	7 个	17425	12172.74	6 个
2023	0	14458.66116	7 个	17425	14458.66	原有 6 个 + 新建 2 个
2024	0	14742.14573	7 个	17425	14742.15	8 个
2025	0	14944.42064	7 个	17425	14944.42	8 个
2026	0	15531.65019	7 个	17425	15531.65	8 个

表 11: 现状模式的当期及未来十年的垃圾处理厂变化

根据现有的深圳市政策以及《深圳市生活垃圾焚烧处理设施近期建设补充规划（2015～2020）》中的数据，现状模式的垃圾焚烧厂相应处理的垃圾占比以及与服务区域中心的运距数据如下：

焚烧厂	处理能力（吨/日）	2017-2018 年垃圾处理比例	2019 年垃圾处理比例	2020-2026 年垃圾处理比例	与服务范围区域中心距离
老虎坑垃圾焚烧厂	4200	0.589474	0.384439	0.241033	30km
南山垃圾焚烧厂	800	0.112281	0.073227	0.045911	20km
盐田垃圾焚烧厂	450	0.063158	0.04119	0.025825	10km
平湖垃圾焚烧厂	1675	0.235088	0.153318	0.096126	15km
老虎坑垃圾焚烧厂三期	3800	0	0.347826	0.218077	30km
南山垃圾焚烧厂二期	1500	0	0	0.086083	20km
东部环保电厂	5000	0	0	0.286944	30km

表 12: 现状模式的垃圾焚烧厂相应处理的垃圾占比以及与服务区域中心的运距数据

同时，现状模式的垃圾填埋场相应处理的垃圾占比以及与服务区域中心的运距数据如下：

填埋场	占地面积	2017-2019 年垃圾处理比例	2020-2022 年垃圾处理比例	2023-2026 年垃圾处理比例	与服务范围区域中心距离
深圳市下坪固体废弃物填埋场	1490000	0.4923	0.3222	0.2012	10km
老虎坑卫生填埋厂	260000	0.3741	0.2391	0.1231	30km
深圳市坪西垃圾卫生填埋场	70000	0.034	0.028	0.023	10km
坪山鸭湖垃圾填埋场	200000	0.0996	0.707	0.727	15km
新建填埋场 1	250000	0	0.12	0.09	10km
新建填埋场 2	250000	0	0.22	0.14	20km
新建填埋场 3	250000	0	0	0.12	15km
新建填埋场 4	250000	0	0	0.23	15km

表 13: 现状模式的垃圾填埋场相应处理的垃圾占比以及与服务区域中心的运距数据

根据成本核算模型中的运输成本核算方式进行计算，其中由于 2016 年车辆使用及维修费价格年上涨 0.4%，对总成本影响不大，因此核算模型中的交通价格变化率设置为 0。现状模式的垃圾运输成本  $C_{Trans}$ (单位：元) 如下：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$C_{Trans}$	454570080.4	468725027.8	492716757.4	517576318	542309939	560341027.9	621701625.4	583391096	592282180.3	611628278

表 14: 现状模式下当期和未来 10 年的垃圾运输费用

### 3) 处理成本核算

参考广州市的低值回收物回收补贴 90 元/吨，深圳市的低值回收物回收补贴取 100 元/吨。另外，由于统计数据中没有有害垃圾的占比比例，且有害垃圾的运输处理成本占比较小，因此在核算时忽略成本核算模型中的有害垃圾的运输处理成本，只考虑实际可回收垃圾的运输处理成本。根据

每年可回收垃圾的回收比例，按照模型中的核算方式计算现状模式下的可回收垃圾和有害垃圾的运输处理成本  $COthers$ （单位：元）如下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$COthers$	0	0	7630556.736	9381358.338	9907006.928	10335360.78	9006296.571	9801301.151	19554609.31	22635683.16

表 15: 现状模式下当期和未来 10 年的可回收垃圾和有害垃圾的运输处理成本

由于现状模式中厨余垃圾未分离，因此湿垃圾处理成本  $CKitchen$  为 0。

根据《生活垃圾焚烧处理工程建设标准（建标 142-2010）》，垃圾焚烧的用地需求约为 30 50 平方米/吨日处理规模，具体核算时取 30 平方米/吨日处理规模。根据《深圳市生活垃圾焚烧处理设施近期建设补充规划（2015 ~ 2020）》中的数据，可知规划焚烧厂的占地面积以及投资费用，另新建的焚烧厂投资费用按照垃圾焚烧处理项目的投资标准 60 万元/吨日处理规模计算。基准地价是确定土地价格和征收土地税费的基本依据，土地成本中的当前地价采用工业用地基准地价。根据国家相关规定，基准地价原则上每 3 年更新一次，并根据市场变化适时调整。根据《2016 年第四季度全国主要城市地价监测报告》中数据，深圳市的工业基准地价目前为 1055 元/平方米，2016 年工业用地地价年增长率为 7%，未来 10 年的工业基准地价取年增长率为 7%，另外，根据《国家发展改革委办公厅关于印发〈项目收益债券管理暂行办法〉的通知》（2015），项目投资内部收益率原则上应大于 8%，对于政府购买服务项目，或债券存续期内财政补贴占全部收入比例超过 30% 的项目，或运营期超过 20 年的项目，内部收益率的要求可适当放宽，但原则上不低于 6%。因此在计算土地成本中取折现率 6%。目前深圳市单位垃圾焚烧处理费均值为 130 元/吨，考虑到远期环保标准的提高，2020 年 -2021 年的单位垃圾焚烧处理费为 150 元/吨，2022 年 -2026 年的单位垃圾焚烧处理费为 180 元/吨。深圳市目前居民电价 0.68 元/kW·h，燃煤发电上网电价均值为 0.50 元/kW·h，即每度电补贴 0.18 元计算，除去焚烧厂自用电量，每吨生活垃圾折算上网电量为 280 度，即平均每吨垃圾焚烧上网电价补贴为 50.4 元/吨。电力、燃料的增值税税率为 17%，因此平均每吨生活垃圾焚烧发电的税收减免费用为 23.8 元/吨。

因此利用成本核算模型中的核算方式，现状模式的当期及未来 10 年的垃圾焚烧相关数据和焚烧处理费用  $CBurn$ （单位：元）如下表所示：

年份	焚烧厂总面积（平方米）	工业基准地价	焚烧厂土地成本	焚烧厂投资费用	焚烧垃圾处理费用	焚烧电价补贴	焚烧税收减免	$CBurn$
2017	480300	1055	32148266.74	108000000	402371645	155996391.6	73664962.7	772181266
2018	480300	1128.85	34398645.41	108000000	414901175	160853994	75958830.5	794112644.9
2019	601300	1207.87	46079073.22	188000000	506916261.7	196527535.3	92804669.46	1030327540
2020	915800	1292.42	75092566.64	272800000	615593917.5	206839556.3	97674234.91	1268000275
2021	915800	1382.89	80349046.31	272800000	645011543.8	216723878.7	102341831.6	1317226300
2022	915800	1479.692	85973479.55	272800000	799748790.4	223929661.3	105744562.3	1488196493
2023	915800	1583.271	91991623.12	272800000	949934038.3	265981530.7	125602389.5	1706309582
2024	915800	1694.099	98431036.74	272800000	968558974.5	271196512.9	128065020	1739051544
2025	915800	1812.686	105321209.3	272800000	981848436.3	274917562.2	129822182.1	1764709390
2026	915800	1939.574	112693694	272800000	1020429417	285720236.8	134923445.2	1826566793

表 16: 现状模式的当期及未来 10 年的垃圾焚烧相关数据和焚烧处理费用

填埋场的总土地面积根据表 13 中现状模式的未来 10 年填埋场的变化而变化。根据国内目前各大填埋场的运营管理情况，填埋场内的垃圾堆填密度一般为 0.8 吨/立方米，平均填埋高度按 20 米计，填埋场的投资规模可按 20 元/立方米库容估算，因此目前深圳填埋场投资费用为 10000 元/年，对总成本影响较小，因此忽略填埋场的投资费用。2017 年 -2018 年的单位过量垃圾及飞灰垃圾卫生填埋费用 15 元/吨，由于未来环保标准的提高，2019 年 -2021 年的单位垃圾卫生填埋费用 30 元/吨，2022 年 -2026 年的单位垃圾卫生填埋费用 50 元/吨。实地调研了解到目前老虎坑填埋场的除臭费用为每个月 1000 万，日填埋垃圾 1800 吨，则平均除臭费用为 185.18/吨。根据成本核算模

型的核算方式，现状模式的当期及未来 10 年的垃圾填埋相关数据和填埋处理费用  $CLandfill$ （单位：元）如下表所示：

年份	填埋厂总面积（平方米）	填埋场土地成本	填埋处理费用	填埋除臭费用	$CLandfill$
2017	2020000	135206118.7	46427497.5	573162932.5	754796548.7
2018	2020000	144670547	47873212.5	591010766.1	783554525.5
2019	2020000	154797485.3	77987117.19	481388478.7	714173081.2
2020	2520000	206631653.1	82079189	506647474	795358316.1
2021	2520000	221095868.9	86001539.17	530858834.1	837956242.1
2022	2520000	236572579.7	148101627.8	548509188.9	933183396.4
2023	3020000	303357394.4	113087385.5	418830441	835275220.9
2024	3020000	324592412	115304639.8	427042264.1	866939315.9
2025	3020000	347313880.9	116886718.6	432901651	897102250.5
2026	3020000	371625852.5	121479692.5	449912189.2	943017734.3

表 17: 现状模式的当期及未来 10 年的垃圾填埋相关数据和填埋处理费用

另外，经实地调研了解到，深圳市目前的邻避效应补贴为 50 元/吨，即每吨垃圾处理补贴周围居民共 50 元，则除去被回收的可回收物，剩余垃圾的邻避效应成本为 50/ 吨，根据成本模型的核算方式核算出现状模式的邻避效应成本  $CResident$ 。利用成本模型的核算方式，现状模式的垃圾处理费用  $CProcessing$ (单位：元) 如下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CProcessing$	1836494465	1896821920	2077077499	2414736571	2523429296	2801969320	2927549051	3000140961	3070988645	3197152519

表 18: 现状模式下当期和未来 10 年的垃圾处理成本

#### 4) 健康成本核算

本次健康成本的计算因得不到各地区的二噁英浓度，因此类比北京的情况得到结果。2015 年北京市常住人口 2170.5 万人，人口密度为 1323 人/平方公里，每年因二噁英而致癌的人数约为 241 人/年。考虑深圳绿化、山体等因素，每年因二噁英致癌的人数约为 40 人/年。2015 年，深圳市光明新区等邻近垃圾焚烧厂区域的人均收入为 56700 元，将收入参数带入“工资风险模型”中可得深圳市个体生命价值的估计为 822.09 万元，癌症次均住院费用为 41314.48 元（治疗费 + 非治疗费），按 6% 的折现率折算到 2015 年为 46420.95 元。如以人均住院 1 次计算，40 人健康成本为 3.31 亿元。2015 年生活垃圾共 573 万吨，焚烧量 48.1%，焚烧垃圾共 275.613 万吨，因此估计每吨焚烧垃圾在深圳的健康成本为 120.09 元/吨。则根据成本模型的核算方式，现状模式的健康成本  $CHealth$ (单位：元) 如下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CHealth$	371698545	383272939.3	468273645.2	492844490.3	516396241.9	533565734.6	633764325.9	646190262.5	655056548.4	680796492.9

表 19: 现状模式下当期和未来 10 年的健康成本

#### 5) 社会总成本核算

根据成本模型中的核算公式，将四部分成本相加得到现状模式的社会总成本。现状模式的分项成本（单位：元），年度垃圾处理社会总成本（单位：元）和单位垃圾处理社会总成本（单位：元）变化如下图所示，具体数据详见附录数据中表格。



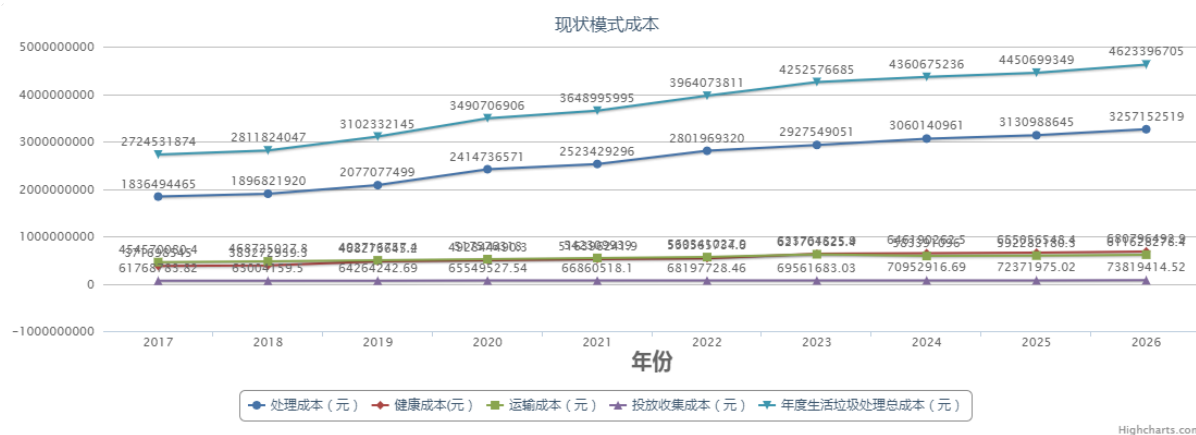


图 6: 现状模式成本

#### 4.2.2 垃圾处理模式一：混合收集 + 全量焚烧 + 灰渣填埋 + 中心城区垃圾全量转运

模式一为前端厨余垃圾与不可回收垃圾混合在一起收集，可回收垃圾并不强制分类回收，垃圾逐步做到全量处理模式为焚烧，灰渣以填埋的方式处理，运输为中心城区垃圾全量转运。另外，由于是前端混合收集，与现状模式相同，因此厨余垃圾中的分离比例与可回收垃圾的回收比例与现状模式的相同。

##### 1) 前端分类收集成本核算

由于是混合收集，模式一的前端费用与现状模式的相同，因此模式一的当期和未来 10 年的垃圾收集费用即  $CCollection$  (单位：元) 与现状模式的前端分类收集成本相同。

##### 2) 运输成本核算

在模式一中，生活垃圾中除去回收的可回收物以及分离的厨余垃圾之外，剩下的生活垃圾一部分进行焚烧，一部分进行过量垃圾或者飞灰的填埋。由于全量焚烧需要一定的时间周期，因此依据实际情况设置焚烧比例，剩余的即为填埋比例。模式一中当期及未来十年的焚烧比例如下表：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
垃圾焚烧量比例	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.85	0.9	0.9	0.95	0.95

表 20: 模式一的当期及未来十年的焚烧比例

因此根据模式一的厨余垃圾分离比例、可回收物的回收比例以及焚烧量比例，可核算得出模式一情况下年处理厨余垃圾量（单位：吨），年焚烧垃圾量（单位：吨）以及年垃圾填埋量（单位：吨），同现状模式的核算思路相同，相应地得到未来 10 年内所需要新建的焚烧厂的数量。同时，由于远期原生垃圾不再需要进行填埋处理，因此未来 10 年内无需新建填埋场，仍使用现在的 4 所填埋场。

模式一当期及未来十年的垃圾处理厂变化的相应数据如下：

年份	日处理厨余垃圾量	日垃圾焚烧量（吨）	垃圾焚烧厂	焚烧厂日处理规模（吨）	日垃圾填埋量（吨）	垃圾填埋厂
2017	0	8479.908	现有 4 个垃圾焚烧厂	9000	8479.908	现有 4 个
2018	0	10492.76	现有 4 个垃圾焚烧厂	9000	6995.173	现有 4 个
2019	0	12463.69	现有 4 个 + 新建的 1 个	12800	5341.583	现有 4 个
2020	0	14991.63	现有 5 个 + 新建的 2 个	17425	3747.908	现有 4 个
2021	0	15708.04	7 个	17425	3927.011	现有 4 个
2022	0	17244.71	7 个	17425	3043.184	现有 4 个
2023	0	18589.71	7 个	17425	2065.523	现有 4 个
2024	0	18954.19	原有 7 个 + 新建的 2 个	22000	2106.021	现有 4 个
2025	0	20281.71	9 个	22000	1067.459	现有 4 个



年份	日处理厨余垃圾量	日垃圾焚烧量（吨）	垃圾焚烧厂	焚烧厂日处理规模（吨）	日垃圾填埋量（吨）	垃圾填埋厂
2026	0	21078.67	9 个	22000	1109.404	现有 4 个

表 21: 模式一的当期及未来十年的垃圾处理厂变化

利用同现状模式的相关数据，则模式一的垃圾焚烧厂相应处理的垃圾占比以及距离服务区域中心的运距数据如下：

焚烧厂	处 理 能 力 (吨/日)	2017-2018 年垃圾 处理比例	2019 年垃圾处 理比例	2020-2023 年垃圾 处理比例	2024-2026 年垃圾处 理比例	与服务范围区域中 心距离
老虎坑垃圾焚烧厂	4200	0.589474	0.384439	0.241033	0.18729097	30km
南山垃圾焚烧厂	800	0.112281	0.073227	0.045911	0.03567447	20km
盐田垃圾焚烧厂	450	0.063158	0.04119	0.025825	0.02006689	10km
平湖垃圾焚烧厂	1675	0.235088	0.153318	0.096126	0.074693423	15km
老虎坑垃圾焚烧厂三期	3800	0	0.347826	0.218077	0.169453735	30km
南山垃圾焚烧厂二期	1500	0	0	0.086083	0.066889632	20km
东部环保电厂	5000	0	0	0.286944	0.22296544	30km
新建焚烧厂 1	2000	0	0	0	0.089186176	20km
新建焚烧厂 2	3000	0	0	0	0.133779264	20km

表 22: 模式一的垃圾焚烧厂相应处理的垃圾占比以及与服务区域中心的运距数据

由于填埋场未来 10 年内暂不变化，其相应处理的垃圾占比以及距离服务区域中心的运距数据与现状模式中 2017-2018 年的数据相同。根据成本核算模型中的运输成本核算方式进行模式一的计算，其中与现状模式相同，交通价格变化率设置为 0。模式一的垃圾运输成本  $C_{Trans}$  (单位：元) 如下表：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$C_{Trans}$	454570080.4	473297557.9	499177340.1	535657679.3	561255361.4	583833093.3	598391722.6	593807364.6	605157608.2	628936812.1

表 23: 模式一当期和未来 10 年的垃圾运输费用

### 3) 处理成本核算

由于模式一与现状模式都为前端混合收集，因此每年可回收垃圾的回收比例相同，所以模式一的可回收垃圾和有害垃圾的运输处理成本  $C_{Others}$  (单位：元) 与现状模式中的成本相同。另外，由于模式一中厨余垃圾未分离，因此湿垃圾处理成本  $C_{Kitchen}$  为 0。

模式一中的焚烧成本与现状模式中的计算方法相同，根据模式一的焚烧量进行计算，模式一的当期及未来 10 年的焚烧处理费用  $C_{Burn}$  (单位：元) 如下表所示：

年份	焚烧厂总面积（平方米）	工业基准地价	焚烧厂土地成本	焚烧厂投资费用	焚烧垃圾处理费用	焚烧电价补贴	焚烧税收减免	$C_{Burn}$
2017	480300	1055	32148266.74	108000000	402371645	155996392	73664962.7	772181266
2018	480300	1128.85	34398645.41	108000000	497881410	193024793	91150596.6	924455445
2019	601300	1207.87	46079073.22	188000000	591402305.4	229282125	108272114	1163035618
2020	915800	1292.42	75092566.64	272800000	820791890	275786075	130232313	1574702845
2021	915800	1382.89	80349046.31	272800000	860015391.7	288965172	136455775	1638585385
2022	915800	1479.692	85973479.55	272800000	1132977453	317233687	149804797	1958789416
2023	915800	1583.271	91991623.12	272800000	1221343764	341976254	161488787	2089600427
2024	1065800	1694.099	114553176.4	332800000	1245290110	348681231	164655026	2205979543
2025	1065800	1812.686	122571898.8	332800000	1332508592	373102406	176187247	2337170144
2026	1065800	1939.574	131151931.7	332800000	1384868495	387763179	183110390	2419693995

表 24: 模式一的当期及未来 10 年的垃圾焚烧相关数据和焚烧处理费用

由于模型一中的填埋场未来十年内暂时不变，即使关闭的填埋场也无法用作住宅或者商业用地，则占地面积即目前的 4 个填埋场总面积，共 202 万平方米。与现状模式相同，忽略填埋场的投资费用。2017 年 -2020 年的单位飞灰垃圾填埋费用 15 元/吨，由于未来环保标准的提高，2021 年

-2022 年的单位飞灰垃圾填埋费用 20 元/吨，2023 年 -2026 年的单位飞灰垃圾填埋费用 30 元/吨，其余基础数据和计算方法与现状模式中的相同，则根据模式一的垃圾填埋处理量以及成本模型中的核算方式，模式一的当期及未来 10 年的填埋处理费用  $CLandfill$ （单位：元）如下表所示：

年份	填埋厂总面积（平方米）	填埋场土地成本	填埋处理费用	填埋除臭费用	$CLandfill$
2017	2020000	135206118.7	46427497.5	573162932	754796549
2018	2020000	144670547	38298570	472808613	655777730
2019	2020000	154797485.3	29245168.95	361041359	545084013
2020	2020000	165633309.3	27359729.67	253323737	446316776
2021	2020000	177227640.9	28667179.72	265429417	471324238
2022	2020000	189633575.8	33322866.27	205690946	428647388
2023	2020000	202907926.1	22617477.1	139610147	365135550
2024	2020000	217111480.9	23060927.97	142347421	382519830
2025	2020000	232309284.6	11688671.86	72150275.2	316148232
2026	2020000	248570934.5	12147969.25	74985364.9	335704269

表 25: 模式一的当期及未来 10 年的垃圾填埋相关数据和填埋处理费用

邻避效应成本的计算方法与现状模式的相同，除去被回收的可回收物，取剩余垃圾的邻避效应成本为 50/吨，则根据模式一的垃圾处理量以及成本模型的核算方式核算出模式一的邻避效应成本  $CResident$ 。利用成本模型的核算方式，模式一的垃圾处理费用  $CProcessing$ (单位：元) 如下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CProcessing$	1836494465	1899387925	2040696509	2372397599	2478156376	2768026234	2840700225	2982649474	3062495380	3182966255

表 26: 模式一当期和未来 10 年的垃圾处理成本

#### 4) 健康成本核算

同现状模式中的健康成本计算方式相同，根据模式一的垃圾焚烧量以及成本模型的核算公式进行估算，则模式一的健康成本  $CHealth$ (单位：元) 如下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CHealth$	371698545	459927527.1	546319252.7	657125987	688528322.6	755884790.7	814839847.6	830816052	889005315.7	923938097.4

表 27: 模式一当期和未来 10 年的健康成本

#### 5) 社会总成本核算

根据成本模型中的核算公式，将四部分成本相加得到模式一的社会总成本。模式一的分项成本（单位：元），年度垃圾处理社会总成本（单位：元）和单位垃圾处理社会总成本（单位：元）变化如下图所示，具体数据详见附录数据中表格。

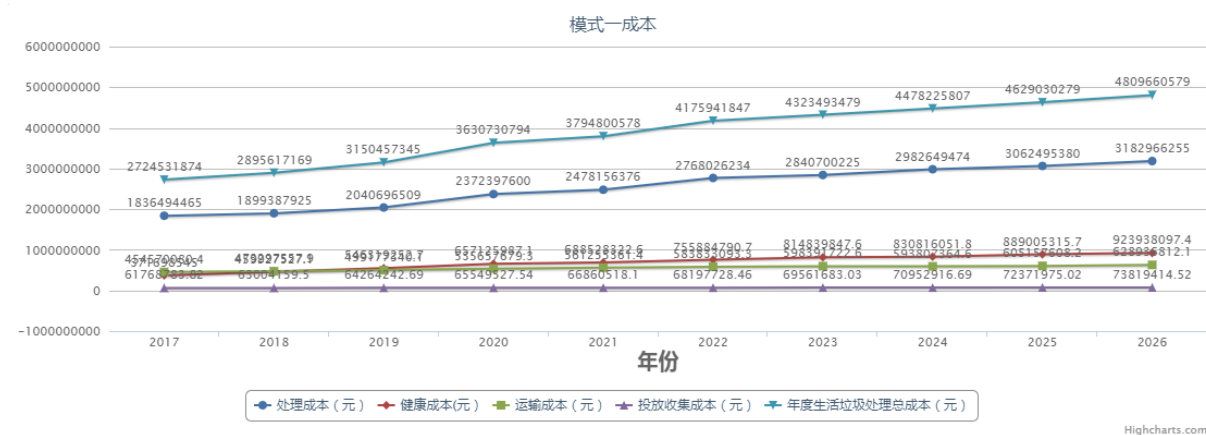


图 7: 模式一成本

#### 4.2.3 垃圾处理模式二：源头分类收集 + 湿垃圾生物处理 + 干垃圾焚烧 + 中心城区干垃圾转运

模式二为前端分类收集，干垃圾逐步做到全量焚烧，灰渣以填埋的方式处理，分类收集到的厨余垃圾采用湿垃圾处理模式。另外，由于是前端分类，并且考虑到社会的分类比例变化，因此厨余垃圾的分离比例和可回收垃圾的回收比例随时间增长，2026 年达到厨余分离比例 0.8，可回收物回收比例 0.9，两个比例随时间的变化如下表所示：

年份	垃圾清运量（单位：万吨）	厨余垃圾占比	可回收垃圾占比	厨余垃圾分离比例	可回收垃圾回收比例
2017	619.0333	0.554833	0.2372	0	0
2018	638.3095	0.597595	0.2799	0	0.05
2019	657.5232	0.5497	0.2321	0.1	0.1
2020	693.3746	0.5882	0.2706	0.2	0.3
2021	726.5865	0.5903	0.2727	0.4	0.4
2022	750.8435	0.5929	0.2753	0.5	0.6
2023	762.9222	0.5537	0.2361	0.6	0.7
2024	778.4989	0.5694	0.2518	0.8	0.8
2025	798.7994	0.5624	0.2448	0.8	0.85
2026	832.5003	0.5895	0.2719	0.8	0.9

表 28: 分类收集模式下厨余垃圾分离比例和可回收物回收比例

##### 1) 前端分类收集成本核算

由于模式二采用分类收集的方式，宣传教育与激励费用  $C_{Publicity}$  的核算中，我们通过实地走访社区与网上搜查相关数据，非电动不锈钢宣传栏 1000/块，宣传册 10 元/册，每户一册，画报公示 30 元/张，社区宣传费用 500-1000 元/次，幼儿园宣传费用 400 元/次，小学宣传费用 300 元/次。激励费用参考香港等城市设定为每十户奖励一户，每次奖励 100 元的标准，用于购买生活用品或减免物业费等。另外，在具体核算中由于垃圾袋的费用占比较小因此忽略维护费用。分类模式下垃圾桶成本计算公式与混合模式下的相同，区别在于分类模式下的垃圾桶为四分类桶和有害垃圾桶。其中不同分类率情况下各类场所的所需垃圾桶数量不同，不同分类率对应的各类场所需垃圾桶数量已在表 7 中列出。

实际核算中，2017-2018 年垃圾分类率为 0，2019-2021 年垃圾分类率为 20%，2022-2023 年垃圾分类率为 50%，2024-2026 年垃圾分类率为 80%。另外根据上网查询相关数据，除了现状模式中表 8 的深圳市相关信息外，核算模式二分类成本时所需其余数据汇总如下表：

四分塑料垃圾桶一组 480L 单价 (元)	四分金属垃圾桶一组 480L 单价 (元)	有害垃圾桶 120L 单价 (元)	有害垃圾桶 240L 单价 (元)	其他垃圾桶 660L 单价 (元)	其他垃圾桶 240L 单价 (元)
712	1920	750	1300	780	173
其他垃圾桶 120L 单价 (元)	织物回收箱 1000L 单价 (元)	户外金属果皮箱 120L 单价 (元)	从业人员培训单价 (元)	专业分类人力单价 (元)	专业督导岗费用 (元)
145	880	298	1500	5500	66005500

表 29: 模式二核算过程另需深圳市数据

根据上述数据和现状模型中的计算方法以及成本模型中的核算公式，源头分类收集模式下当期和未来 10 年的垃圾收集费用即  $CCollection$ (单位：元) 如下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CCollection$	130031312.2	492920403.1	496510286.8	654857091	667954232.9	674633775.2	684913353.7	691762487	705597737	865250546.2

表 30: 分类收集模式下当期和未来 10 年的垃圾收集费用

2) 运输成本核算

仍采用模式一中提及的焚烧量比例，则根据模式二的厨余垃圾分离比例、可回收物的回收比例以及焚烧量比例，可核算得出模式二情况下年处理厨余垃圾量（单位：吨），年焚烧垃圾量（单位：吨）以及年垃圾填埋量（单位：吨），另外随着垃圾焚烧量和厨余垃圾处理量的增加，相应地得到未来 10 年内所需要新建的焚烧厂和厨余垃圾处理场的数量。从深圳市城管局官网数据可知，现有的 4 个餐厨垃圾处理场罗湖区餐厨处理项目、龙岗区中心城餐厨处理项目、南山区餐厨处理项目和城市生物质垃圾处理项目，厨余垃圾分类处理后，这四个餐厨垃圾处理中心可用于厨余垃圾的处理。同时，跟模式一相同，模式二未来 10 年内无需新建填埋场，仍使用现在的 4 所填埋场。

模式二的当期及未来十年的垃圾处理厂变化如下：

年份	日处理厨余垃圾量 (吨)	厨余处理中心	厨余日处理规模 (吨)	日垃圾焚烧量 (吨)	垃圾焚烧厂	焚烧厂日处理规模 (吨)	日垃圾填埋量 (吨)	垃圾填埋厂
2017	0	无	0	8479.908219	现有 4 个垃圾焚烧厂	9000	8479.908219	现有 4 个
2018	0	无	0	10345.91274	现有 4 个垃圾焚烧厂	9000	6897.275162	现有 4 个
2019	990.2479535	原有 4 个处理中心	1000	11624.18152	现有 4 个 + 新建的 1 个	12800	4981.792079	现有 4 个
2020	2234.755834	原有 4 个处理中心 + 新增 3 个厨余垃圾处理中心	2000	12175.73396	5 个	12800	3043.933491	现有 4 个
2021	4700.317928	原有 7 个处理中心 + 新增 4 个厨余垃圾处理中心	4000	10427.8102	5 个	12800	2606.952549	现有 4 个
2022	6098.289194	原有 11 个处理中心 + 新增 3 个厨余垃圾处理中心	6000	9413.612954	5 个	12800	1661.225815	现有 4 个
2023	6944.055158	原有 14 个处理中心 + 新增 2 个厨余垃圾处理中心	7000	9453.107705	5 个	12800	1050.345301	现有 4 个
2024	9715.666272	原有 16 个处理中心 + 新增 5 个厨余垃圾处理中心	10000	6584.948942	5 个	12800	731.6609936	现有 4 个
2025	9846.460988	21 个处理中心	10000	7110.408906	5 个	12800	374.2320477	现有 4 个
2026	10756.36004	21 个处理中心	10000	6146.942729	5 个	12800	323.5233015	现有 4 个

表 31: 模式二的当期及未来十年的垃圾处理厂变化

利用同现状模式的相关数据，则模式二的垃圾焚烧厂相应处理的垃圾占比以及距离服务区域中心的运距数据如下：

焚烧厂	处理能力 (吨/日)	2017-2018 年垃圾处理比例	2019-2026 年垃圾处理比例	与服务范围区域中心距离
老虎坑垃圾焚烧厂	4200	0.589474	0.384439	30km
南山垃圾焚烧厂	800	0.112281	0.073227	20km
盐田垃圾焚烧厂	450	0.063158	0.04119	10km

焚烧厂	处理能力（吨/日）	2017-2018 年垃圾处理比例	2019-2026 年垃圾处理比例	与服务范围区域中心距离
平湖垃圾焚烧厂	1675	0.235088	0.153318	15km
老虎坑垃圾焚烧厂三期	3800	0	0.347826	30km

表 32: 模式二的垃圾焚烧厂相应处理的垃圾占比以及与服务区域中心的运距数据

由于模式二填埋场未来 10 年内暂不变化，其相应处理的垃圾占比以及距离服务区域中心的运距数据与模式一中的数据相同。根据成本核算模型中的运输成本核算方式进行模式二的计算，其中与现状模式和模式一相同，交通价格变化率设置为 0。模式二的垃圾运输成本  $CTrans$  (单位: 元) 如下表:

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CTrans$	454570080.4	466673759	487240844.9	481152382	473100821	450067302.8	454165156	423206482.9	432261524	422835581

表 33: 模式二当期和未来 10 年的垃圾运输费用

### 3) 处理成本核算

深圳市的低值回收物回收补贴取 100 元/吨，忽略成本核算模型中的有害垃圾的运输处理成本。根据模式二中每年可回收垃圾的回收比例，按照成本模型的核算方式计算模式二可回收垃圾和有害垃圾的运输处理成本  $COthers$  (单位: 元) 如下表所示:

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$COthers$	0	8933141.45	15261113.47	56288150	79256055	124024329.3	126088152	156820818.4	166214179	203721148

表 34: 模式二当期和未来 10 年可回收垃圾和有害垃圾的运输处理成本

厨余垃圾暂考虑采用厌氧发酵技术处理，用地指标参考《城市生活垃圾堆肥处理工程项目建设标准（2001）》同时充分考虑集约用地的原则按 60-80 平方米/吨日处理规模计，具体核算时取 60 平方米/吨日处理规模。新建的厨余垃圾处理场投资费用按照厌氧发酵处理项目的投资标准按 50 万元/吨日处理规模计算。工业基准地价与模式一中相同。目前深圳市单位厨余垃圾处理费均值为 110 元/吨，考虑到远期环保标准的提高，2020 年 -2021 年的单位垃圾焚烧处理费为 130 元/吨，2022 年 -2026 年的单位厨余垃圾处理费为 150 元/吨。深圳市每度电补贴 0.18 元计算，1 吨餐厨垃圾可产生 80 100 立方米的沼气，而 1 立方米的沼气又可产生约 2 度电，即平均每吨厨余垃圾上网电价补贴为 28.8 元/吨。电力、燃料的增值税税率为 17%，因此平均每吨厨余垃圾发电的税收减免费用为 13.6 元/吨。另外，由于厨余垃圾处理场的臭气较为严重，除臭成本按模式一填埋成本中的除臭标准 50 元/吨计算。因此利用模型一中的核算方式，模式二的当期及未来 10 年的厨余垃圾处理费用  $CKitchen$  (单位: 元) 如下表所示:

年份	厨余垃圾处理中心总面积（单位：平方米）	厨余垃圾处理土地成本	厨余处理中心投资费用	厨余垃圾处理费用	厨余电价补贴	厨余税收减免	厨余除臭费用	$CKitchen$
2017	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	69053	5291698.392	15918656.67	39758455.33	10409486.5	4915591	66902637.11	143196524.8
2020	129053	10581918.54	32585323.34	106039164.3	23491753.3	11093328	150983456.3	334774943.8
2021	249053	21851027.55	65918656.67	223030085.7	49409742.1	23332378	317560529.7	701102419.9
2022	369053	34645960.42	99251990	333881333.4	64105216	30271908	412009565.4	974165972.7
2023	429053	43098145.75	115918656.7	380187019.9	72995907.8	34470290	469150782.6	1115820803
2024	609053	65461583.55	165918656.7	531932728.4	102131084	48228567	656404986.8	1570077607
2025	609053	70043894.4	165918656.7	539093739.1	103505998	48877832	665241674	1592681794
2026	609053	74946967.01	165918656.7	588910712.2	113070857	53394571	726715818.9	1722957583

表 35: 模式二的当期及未来 10 年的厨余垃圾相关数据和厨余处理费用

另外，模式二中的焚烧成本与现状模式和模式一计算方法相同，根据模式二的焚烧量进行计算，模式二的当期及未来 10 年的焚烧处理费用  $CBurn$ （单位：元）如下表所示：

年份	焚烧厂总面积（平方米）	工业基准地价	焚烧厂土地成本	焚烧厂投资费用	焚烧垃圾处理费用	焚烧电价补贴	焚烧税收减免	$CBurn$
2017	480300	1055	32148266.74	108000000	402371645	155996392	73664962.7	772181266
2018	480300	1128.85	34398645.41	108000000	490913559.7	190323411	89874944	913510559.9
2019	601300	1207.87	46079073.22	188000000	551567413	213838443	100979264.8	1100464194
2020	601300	1292.42	49304608.35	188000000	666621434.4	223984802	105770600.9	1233681446
2021	601300	1382.89	52755930.93	188000000	570922608.2	191829996	90586387.17	1094094923
2022	601300	1479.692	56448846.09	188000000	618474371.1	173172824	81776055.73	1117872097
2023	601300	1583.271	60400265.32	188000000	621069176.2	173899369	82119146.64	1125487958
2024	601300	1694.099	64628283.89	188000000	432631145.5	121136721	57203451.46	863599601.6
2025	601300	1812.686	69152263.77	188000000	467153865.1	130803082	61768122.16	916877333.3
2026	601300	1939.574	73992922.23	188000000	403854137.3	113079158	53398491.49	832324709.4

表 36: 模式二的当期及未来 10 年的垃圾焚烧相关数据和焚烧处理费用

模式二中的填埋成本与模式一计算方法相同，根据模式二的填埋量进行计算，模式二的当期及未来 10 年的填埋处理费用  $CLandfill$ （单位：元）如下表所示：

年份	填埋厂总面积（平方米）	填埋场土地成本	填埋处理费用	填埋除臭费用	$CLandfill$
2017	2020000	135206118.7	46427497.5	573162932.5	754796549
2018	2020000	144670547	37762581.51	466191656.3	648624785
2019	2020000	154797485.3	27275311.63	336722813.8	518795611
2020	2020000	165633309.3	22220714.48	205741595.4	393595619
2021	2020000	177227640.9	19030753.61	176205747.7	372464142
2022	2020000	189633575.8	18190422.68	112283415.7	320107414
2023	2020000	202907926.1	11501281.04	70993574.11	285402781
2024	2020000	217111480.9	8011687.88	49453478.72	274576647
2025	2020000	232309284.6	4097840.922	25294606.06	261701732
2026	2020000	248570934.5	3542580.152	21867166.42	273980681

表 37: 模式二的当期及未来 10 年的垃圾填埋相关数据和填埋处理费用

邻避效应成本的计算方法与现状模式和模式一的相同，除去被回收的可回收物，取剩余垃圾的邻避效应成本为 50/吨，则根据模式二的垃圾处理量以及成本模型的核算方式核算出模式二的邻避效应成本  $CResident$ 。

利用成本模型的核算方式，模式二的垃圾处理费用  $CProcessing$ (单位：元) 如下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CProcessing$	1836494465	1885756665	2098848487	2336883384	2570582762	2849579398	2971216717	3175913715	3253767649	3347373697

表 38: 模式二当期和未来 10 年的垃圾处理成本

#### 4) 健康成本核算

同现状模式和模式一中的健康成本计算方式相同，根据模式二的垃圾焚烧量以及成本模型的核算公式进行估算，则模式二的健康成本  $CHealth$ (单位：元) 如下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CHealth$	371698545	453490841.4	509521004.8	533697120.4	457080640.2	412625484.6	414356652.1	288637079.2	311669487	269438018.6

表 39: 模式二当期和未来 10 年的健康成本

#### 5) 社会总成本核算

根据成本模型中的核算公式，将四部分成本相加得到模式二的社会总成本。模式二的分项成本（单位：元），年度垃圾处理社会总成本（单位：元）和单位垃圾处理社会总成本（单位：元）变化如下图所示，具体数据详见附录数据中表格。



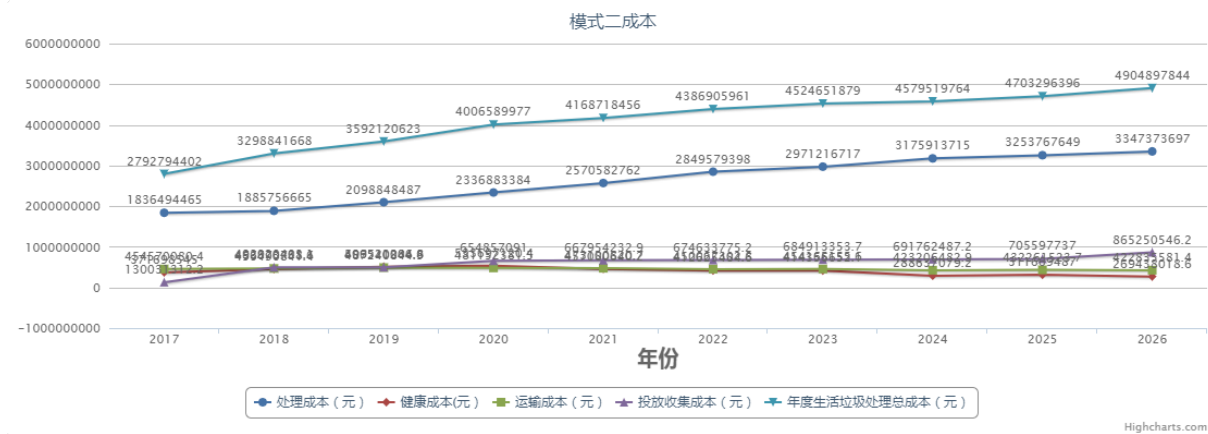


图 8: 模式二成本

#### 4.2.4 垃圾处理模式三：混合收集 + 末端分类 + 湿垃圾生物处理 + 干垃圾焚烧 + 中心城区干垃圾转运

模式三为前端混合收集，可回收垃圾不强制回收，干垃圾逐步做到全量焚烧，灰渣以填埋的方式处理，末端分类收集到的厨余垃圾采用湿垃圾处理模式。由于是混合收集，因此模式三的可回收垃圾的回收比例与现状模式和模式一中的相同，而由于末端人力或机械分类干湿垃圾，因此厨余垃圾的分离比例比模式二的相较高一点，两个比例随时间的变化如下表所示：

年份	垃圾清运量（单位：万吨）	厨余垃圾占比	可回收垃圾占比	厨余垃圾分离比例	可回收垃圾回收比例
2017	619.0333	0.554833	0.2372	0	0
2018	638.3095	0.597595	0.2799	0	0
2019	657.5232	0.5497	0.2321	0.2	0.05
2020	693.3746	0.5882	0.2706	0.3	0.05
2021	726.5865	0.5903	0.2727	0.5	0.05
2022	750.8435	0.5929	0.2753	0.6	0.05
2023	762.9222	0.5537	0.2361	0.6	0.05
2024	778.4989	0.5694	0.2518	0.8	0.05
2025	798.7994	0.5624	0.2448	0.8	0.1
2026	832.5003	0.5895	0.2719	0.85	0.1

表 40: 混合收集末端分类模式下厨余垃圾分离比例和可回收物回收比例

##### 1) 前端分类收集成本核算

由于是混合收集，模式三的前端费用与现状模式和模式一的相同，因此模式三的当期和未来 10 年的垃圾收集费用即  $CCollection$ (单位：元) 与现状模式和模式一的前端分类收集成本相同。

##### 2) 运输成本核算

模式三仍采用模式一中提及的焚烧量比例，则根据模式三厨余垃圾分离比例、可回收物的回收比例以及焚烧量比例，可相应地得到模式三未来 10 年内所需要新建的焚烧厂和厨余垃圾处理场的数量。

同时，由于远期原生垃圾不再需要进行填埋处理，因此模式三未来 10 年内无需新建填埋场，仍使用现在的 4 所填埋场。

因此，模式三当期及未来十年的垃圾处理厂变化的相应数据如下：

年份	日处理厨余垃圾量（吨）	厨余处理中心	厨余日处理规模（吨）	日垃圾焚烧量（吨）	垃圾焚烧厂	焚烧厂日处理规模（吨）	日垃圾填埋量（吨）	垃圾填埋厂
2017	0	无	0	8479.908219	现有 4 个垃圾焚烧厂	9000	8479.908219	现有 4 个
2018	0	无	0	10492.7589	现有 4 个垃圾焚烧厂	9000	6995.172603	现有 4 个

年份	日处理厨余垃圾量（吨）	厨余处理中心	厨余日处理规模（吨）	日垃圾焚烧量（吨）	垃圾焚烧厂	焚烧厂日处理规模（吨）	日垃圾填埋量（吨）	垃圾填埋厂
2019	1980.495907	原有 4 个处理中心 + 新增 3 个厨余垃圾处理中心	2000	11077.34739	现有 4 个 + 新建的 1 个	12800	4747.434597	现有 4 个
2020	3352.133751	原有 7 个处理中心 + 新增 3 个厨余垃圾处理中心	3000	12309.92569	5 个	12800	3077.481423	现有 4 个
2021	5875.39741	原有 10 个处理中心 + 新增 5 个厨余垃圾处理中心	6000	11007.72576	5 个	12800	2751.931439	现有 4 个
2022	7317.947033	原有 15 个处理中心 + 新增 2 个厨余垃圾处理中心	7000	11024.45511	5 个	12800	1945.492079	现有 4 个
2023	6944.055158	原有 17 个处理中心	7000	12340.05757	5 个	12800	1371.117507	现有 4 个
2024	9715.666272	原有 17 个处理中心 + 新增 5 个厨余垃圾处理中心	10000	10210.08772	5 个	12800	1134.454192	现有 4 个
2025	9846.460988	22 个处理中心	10000	10927.57579	5 个	12800	575.135568	现有 4 个
2026	11428.63254	原有 22 个处理中心 + 新增 2 个厨余垃圾处理中心	11000	10221.46719	5 个	12800	537.9719576	现有 4 个

表 41: 模式三的当期及未来十年的垃圾处理厂变化

利用同上述模式的相关数据，模式三的垃圾焚烧厂相应处理的垃圾占比以及距离服务区域中心的运距数据与模式二中的相同。由于填埋场未来 10 年内暂不变化，其相应处理的垃圾占比以及距离服务区域中心的运距数据同模式一和二；

由于厨余垃圾就近处理，即所有厨余垃圾处理中心与其服务区域中心的距离均在 10km 之内。根据成本中的运输成本核算方式进行计算，交通价格变化率设置为 0。

因此，模式三的相应运输成本  $CTrans$ （单位：元）如下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CTrans$	454570080.4	473297557.9	487026288.7	510386463.2	519420762.1	530939302.7	546422613.5	539054040	548554423	561691843.3

表 42: 模式三当期和未来 10 年的垃圾运输费用

### 3) 处理成本核算

由于模式三中每年可回收垃圾的回收比例与现状模式和模式一相同，因此模式三的可回收垃圾和有害垃圾的运输处理成本  $COthers$ （单位：元）与现状模式和模式一的相同。

模式三中的湿垃圾处理成本中，由于添加了末端分类，因此根据成本模型中的核算公式，单位厨余垃圾处理费相应增加 35%，2017 年 -2019 年的单位垃圾焚烧处理费为 148.5 元/吨，2020 年 -2021 年的单位垃圾焚烧处理费为 175.5 元/吨，2022 年 -2026 年的单位厨余垃圾处理费为 202.5 元/吨，其余成本与模式二计算方法相同，根据模式三的厨余垃圾处理量进行计算。

因此，模式三的当期及未来 10 年的厨余垃圾处理费用  $CKitchen$ （单位：元）如下表所示：

年份	厨余垃圾处理中心总面积（单位：平方米）	厨余垃圾处理土地成本	厨余处理中心投资费用	厨余垃圾处理费用	厨余电价补贴	厨余税收减免	厨余除臭费用	$CKitchen$
2017	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	60000	4597945.108	16666666.67	107347829.4	20818972.98	9831181.683	133805274.2	293067870.1
2020	120000	9839602.53	33333333.33	214729307.8	35237629.99	16639991.94	226475184.4	536255050
2021	300000	26320936.77	83333333.33	376363269.6	61762177.58	29165472.74	396950662.1	973895852.2
2022	360000	33796082.81	100000000	540887760	76926259.21	36326289.07	494411478.4	1282347870
2023	429053	43098145.75	100000000	513252476.9	72995907.83	34470289.81	469150782.6	1232967603
2024	609053	65461583.55	150000000	718109183.3	102131083.9	48228567.37	656404986.8	1740335405
2025	609053	70043894.4	150000000	727776547.7	103505997.9	48877832.34	665241674	1765445946
2026	669053	82330262.09	166666666.7	844718802.8	120137785.3	56731731.94	772135557.6	2042720806

表 43: 模式三的当期及未来 10 年的厨余垃圾相关数据和厨余处理费用

另外，模式三中的焚烧成本与上述模式计算方法相同，根据模式三的焚烧量和成本模型的核算公式进行计算。

模式三的当期及未来 10 年的焚烧处理费用  $CBurn$ （单位：元）如下表所示：

年份	焚烧厂总面积（平方米）	工业基准地价	焚烧厂土地成本	焚烧厂投资费用	焚烧垃圾处理费用	焚烧电价补贴	焚烧税收减免	$CBurn$
2017	480300	1055	32148266.74	108000000	402371645	155996391.6	73664962.7	772181266
2018	480300	1128.85	34398645.41	108000000	497881410	193024792.8	91150596.6	924455444.8
2019	601300	1207.87	46079073.22	188000000	525620133.8	203778882.6	96228916.81	1059707006
2020	601300	1292.42	49304608.35	188000000	673968431.7	226453393	106936324.5	1244662758
2021	601300	1382.89	52755930.93	188000000	602672985.1	202498123	95624113.64	1141551153
2022	601300	1479.692	56448846.09	188000000	724306701	202805876.3	95769441.57	1267330865
2023	601300	1583.271	60400265.32	188000000	810741782	227007699	107198080.1	1393347826
2024	601300	1694.099	64628283.89	188000000	670802763.5	187824773.8	88695032.06	1199950853
2025	601300	1812.686	69152263.77	188000000	717941729.5	201023684.3	94927850.91	1271045528
2026	601300	1939.574	73992922.23	188000000	671550394.6	188034110.5	88793885.51	1210371313

表 44: 模式三的当期及未来 10 年的垃圾焚烧相关数据和焚烧处理费用

模式三中的填埋成本与上述模式的计算方法相同，根据模式三的填埋量和成本模型的核算公式进行计算，模式三的当期及未来 10 年的填埋处理费用  $CLandfill$ （单位：元）如下表所示：

年份	填埋厂总面积（平方米）	填埋场土地成本	填埋处理费用	填埋除臭费用	$CLandfill$
2017	2020000	135206118.7	46427497.5	573162932.5	754796548.7
2018	2020000	144670547	38298570	472808612.8	655777729.8
2019	2020000	154797485.3	25992204.42	320882427.6	501672117.3
2020	2020000	165633309.3	22465614.39	208009123.6	396108047.3
2021	2020000	177227640.9	20089099.5	186004972.3	383321712.7
2022	2020000	189633575.8	21303138.26	131497171.5	342433885.5
2023	2020000	202907926.1	15013736.7	92674792.1	310596454.9
2024	2020000	217111480.9	12422273.4	76678552.93	306212307.2
2025	2020000	232309284.6	6297734.47	38873815.64	277480834.7
2026	2020000	248570934.5	5890792.935	36361901.19	290823628.6

表 45: 模式三的当期及未来 10 年的垃圾填埋相关数据和填埋处理费用

邻避效应成本的计算方法与上述模式的相同，除去被回收的可回收物，取剩余垃圾的邻避效应成本为 50/吨，则根据模式三的垃圾处理量以及成本模型的核算方式核算出模式三的邻避效应成本  $CResident$ 。利用成本模型的核算方式，模式三的垃圾处理费用  $CProcessing$  (单位：元) 如下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CProcessing$	1836494465	1899387925	2187023872	2528403834	2867015471	3272702050	3322876132	3640648666	3723149314	3971483739

表 46: 模式三当期和未来 10 年的垃圾处理成本

#### 4) 健康成本核算

同上述模式中的健康成本计算方式相同，根据模式三的垃圾焚烧量以及成本模型的核算公式进行估算，则模式三的健康成本  $CH_{\text{health}}$  (单位：元) 如下表所示：

年份	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
$CH_{\text{health}}$	371698545	459927527.1	485551706.7	539579126.4	482499991.9	483233287.3	540899892.2	447537243.7	478986790.6	448036038.3

表 47: 模式三当期和未来 10 年的健康成本

#### 5) 社会总成本核算

根据成本模型中的核算公式，将四部分成本相加得到模式三的社会总成本。模式三的分项成本（单位：元），年度垃圾处理社会总成本（单位：元）和单位垃圾处理社会总成本（单位：元）变化如下图所示，具体数据详见附录数据中表格。

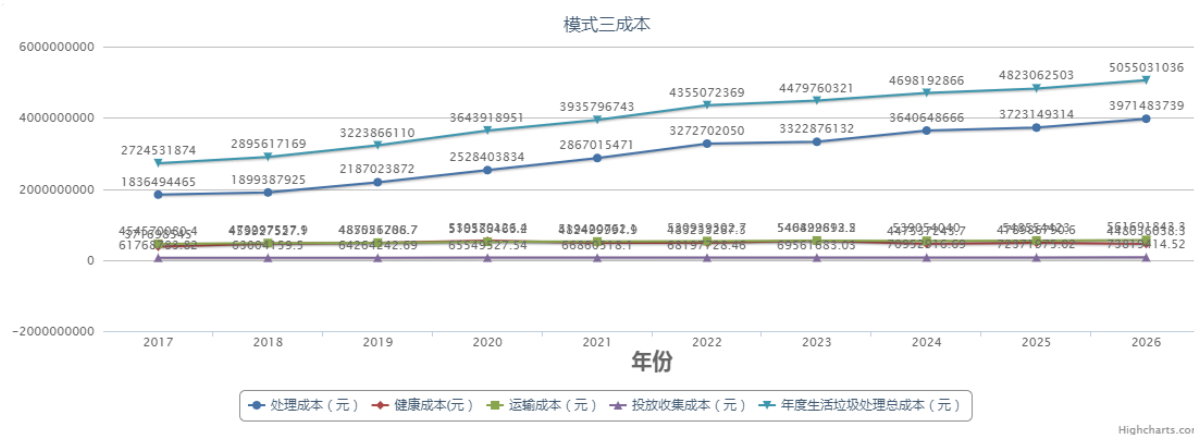


图 9: 模式三成本

#### 4.2.5 四个模式成本对比及各分项成本占比变化

将现状模式与模式一、二、三中的当期、远期成本及远期的占用土地面积和可回收物回收量等数据进行对比，如下表所示：

比较数据	当期总成本 (2017 年)(亿 元)	远 期 总 成 本 (2025-2026 年)(亿元)	远 期 土 地 占 用 面 积 (2026 年)(平 方米)	远 期 可 回 收 物 回 收 量 (2026 年)(吨)	远 期 健 康 成 本 (2026 年)(亿 元)	远 期 投 放 收 集 成 本 (2026 年)(亿元)	远 期 垃 圾 运 输 成 本 (2026 年)(亿元)	远 期 垃 圾 处 理 成 本 (2026 年)(亿元)
现状模式	27.24	90.74	3935800	679070.495	6.81	0.738	6.11	32.57
模式一	27.24	94.3	3085800	679070.495	9.23	0.738	6.28	31.82
模式二	27.92	96	3230353	1924033.1	2.69	8.6	4.22	33.47
模式三	27.24	98.7	3290353	679070.495	4.48	0.738	5.61	39.72

表 48: 四个模式当期、远期成本及远期占用土地面积和可回收物回收量等数据对比

从表中可以看出四个模式的当期总成本近似，远期总成本模式二略高于模式一，模式三略高于模式二，现状模式最少。

分析现状模式的具体分项成本细节数据可知，现状模式由于对填埋场的需求最多，远期土地占用面积最多，用地需求最多，在深圳市的远期发展中占用如此多的土地进行城市垃圾处理可能性较小，并且如今土地资源较为紧缺。另外，由于现状模式为混合收集模式，前端投放收集费用较少，但可回收物的回收量很少，资源化程度较低。由于大部分垃圾进行焚烧处理，部分垃圾进行卫生填埋，因此远期垃圾处理成本较少，但是由于焚烧量较大，带来的健康成本较多。现状模式在远期社会总成本最低，不过土地资源占用最多，健康成本较大，资源化程度低，因此在目前条件和政策要求下，现状模式在未来延续使用的可能性极小。

分析模式一的具体分项成本细节数据可知，模式一的远期土地占用面积最少，用地需求最少，由于为混合收集模式，前端投放收集费用较少，但可回收物的回收量很少，资源化程度较低。由于全量焚烧，远期垃圾处理成本最少，但是由于焚烧量很大，带来的健康成本最多。远期的模式一总成本相较略低，不过健康成本较大，资源化程度低。

分析模式三的具体分项成本细节数据可知，虽然相较模式一，焚烧量有所减少，总焚烧处理成本有所减少，但是由于厨余垃圾处理厂的增多导致其土地和投资成本较大，单位厨余处理成本较高，致使厨余垃圾总处理成本较大，且又因为是后端分类，因此远期垃圾处理成本最高，比模式一多出近 8 亿元，模式三与模式二比较，由于垃圾量的增多以及末端分类处理的费用，导致模式三远期处理成本比模式二多近 6 亿元。远期运输成本与模式一相差不大，由于焚烧量的减少，模式三的健康成本较小，比模式一少近 5 亿元。由于是混合收集，可回收物的回收量较少，资源化程度较低。

分析模式二的具体分项成本细节数据可知，虽然模式二源头分类收集中可回收物回收量大大增加，使得总垃圾处理量减少，但是由于垃圾焚烧量减少，焚烧厂土地和投资成本很大，导致单位垃圾焚烧成本变大，另外厨余垃圾处理厂的增多导致其土地和投资成本较大，致使单位厨余垃圾成本比焚烧成本较大，模式二的远期垃圾处理成本跟模式一近似，多出 1 亿余元，但是由于焚烧量和垃圾处理量的减少，模式二的运输费用和健康成本下降较多，致使除去分类回收成本模式二的总成本比模式一和模式三少近 8 亿元，不过为了尽快提高社会的分类率，未来 10 年内的分类宣传教育以及激励费用较大，2026 年模式二的投放收集费用比模式一、三多出近 8 亿元，因此远期模式二的总成本与模式一相近，多出 1 亿余元，按照此发展趋势，未来 20 年 -30 年内随着社会垃圾分类意识的提高，政府花费在分类宣传教育和激励方面的费用和逐步下降至较小，则模式二的社会总成本会比模式一、三少相当一部分。另外，模式二的土地占用面积与模式三近似，比模式一多出近 20 万平方米。模式二的远期可回收物回收量高达 194 万吨，远远高出模式一、三，其带来的社会效益和环境效益较大。同时，通过大量减少焚烧量，模式二的健康成本最低，表明对居民的潜在伤害最小。通过比较成本效益，可粗略得出模式二的效果较好。

下面比较四个模式下各分项成本的比例变化，

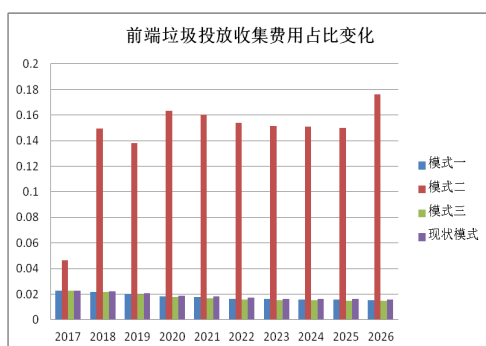


图 10: 前端垃圾分类收集成本占比变化

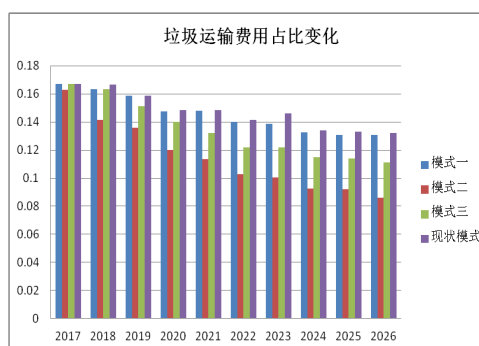


图 11: 垃圾运输成本占比变化

在前段垃圾收集费用占比，现状模式和模式一、三因为随着时间的增长，唯一变化的仅仅是垃圾桶购置和维护的单价上涨费用。但是对于焚烧而言，日益增长的垃圾量和毫无提升的分类比，让其费用直线上升，固对于整体而言现状模式和模式一的前端垃圾投放费用占比下降。模式二有大量的激励、督导成本，所以费用占比非常高。对于运输费用而言，现状模式和模式一之下其绝对数值也为增加。但是由于相较于焚烧费用的增量而言远过渺小，不足以在占比中呈现上升姿态。同理另外两模式呈现下降趋势亦十分明显。模式二下降速度最快，因为其在进行前端分类的同时使得垃圾中的主要成本——厨余垃圾的运输距离极大降低，使得平均运输具体大大降低。同时其前端督导费用极其昂贵，相较现状模式和模式一、三优更少的运输成本占比。模式三占比更低的原因在于模式三在末端分类时有更多的人力成本。三者运输的绝对数值差不多，但模式三其余部分的费用更高，所以其占比相对较低。

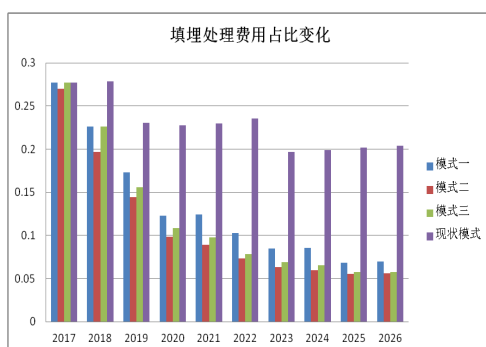


图 12: 垃圾填埋成本占比变化

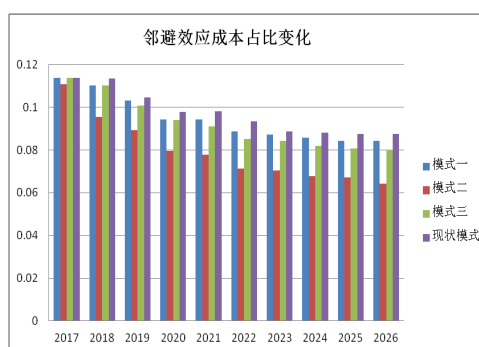


图 13: 邻避效应成本占比变化



现状模式由于仍有相当一部分垃圾进行卫生填埋，因此对于填埋场的需求和填埋费用在未来十年仍较高，因此在总成本中的占比仍较大，但未来 10 年内稍有下降。在模式一、二、三下，垃圾填埋场不再新建。由于各模式下分类效果的提升，或焚烧厂的工作量增加，使得最后进入填埋场的均为焚烧之后的飞灰。直接填埋的垃圾数量随着时间的增加而逐渐减少，固三个模式下其占比均在下降。邻避效应在诸模式下的费用并无太大变化。但由于随着时间的增加，四个模式的其他成本在攀升，由于其攀登速度的不同，导致邻避效应的占比下降速度不同。

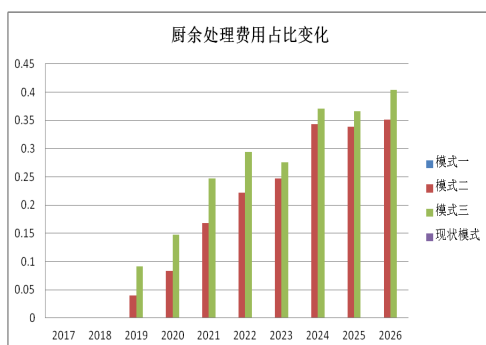


图 14: 厨余垃圾处理成本占比变化

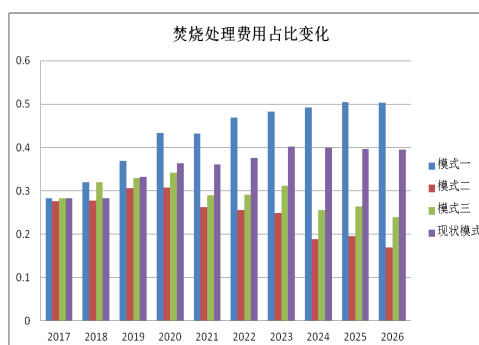


图 15: 垃圾焚烧成本占比变化

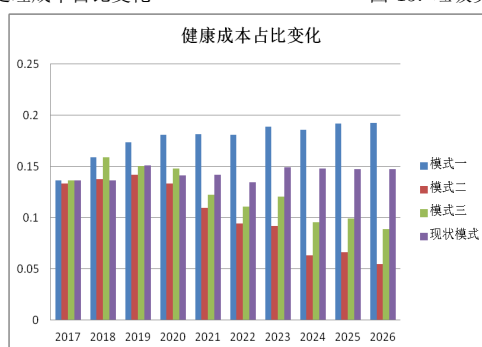


图 16: 健康成本占比变化

模式一完全进行全量焚烧，不分类不收集，现状模式也未对厨余垃圾进行处理，因此两者的厨余费用占比一直为零。模式二模式三均在厨余垃圾的分类上进行宣传或改进。其分离率逐渐提升，再加上厨余垃圾本身占生活垃圾约 50% 左右，固其费用占比逐年增加。如前文所说，模式一在其全量焚烧的策略下，其焚烧量的增量与垃圾量的增加保持一致。所以在其焚烧处理费用占比中呈上升趋势。现状模式中虽未达到全量焚烧，但仍有一大部分垃圾进行焚烧处理，因此其焚烧处理费用虽不及模式一占比高，但仍占比较大且有轻微上升趋势。另外两模式均在分类处理上进行有效的举措，使得分离比上升，垃圾焚烧量减少。所以焚烧处理费用呈现下降趋势。健康成本主要核算的是二恶英对人体健康造成的影响。二恶英的产生主要由焚烧不完全而产生。在假设中我们认为垃圾焚烧厂技术在近年内不会有突破性革新。固二恶英的释放量与焚烧量直接相关。现状模式中因为一大部分垃圾的焚烧，且模式变化较小，因此健康成本持续较高且变化微小。模式一作为全量焚烧，其焚烧量直线上升。因而二恶英的释放量也直线上升，导致了健康成本占比的上升。另外两模式都在对焚烧量进行减少，占比下降显得十分正常。

### 4.3 问题三

#### 4.3.1 成本效益分析

由于现状模式在远期土地资源占用太多，健康成本较大，资源化程度低，因此在目前条件和政策要求下，现状模式在未来延续使用的可能性较小。因此，我们继续模拟了模式一、二、三在 2026 年之后六年的深圳市垃圾处理总成本，以便分析可选择的这三种处理模式。其中模式一为混合收集



+ 全量焚烧 + 灰渣填埋 + 中心城区垃圾全量转运；模式二为源头分类收集 + 湿垃圾生物处理 + 干垃圾焚烧 + 中心城区干垃圾转运；模式三为混合收集 + 末端分类 + 湿垃圾生物处理 + 干垃圾焚烧 + 中心城区干垃圾转运。其结果如下图所示。

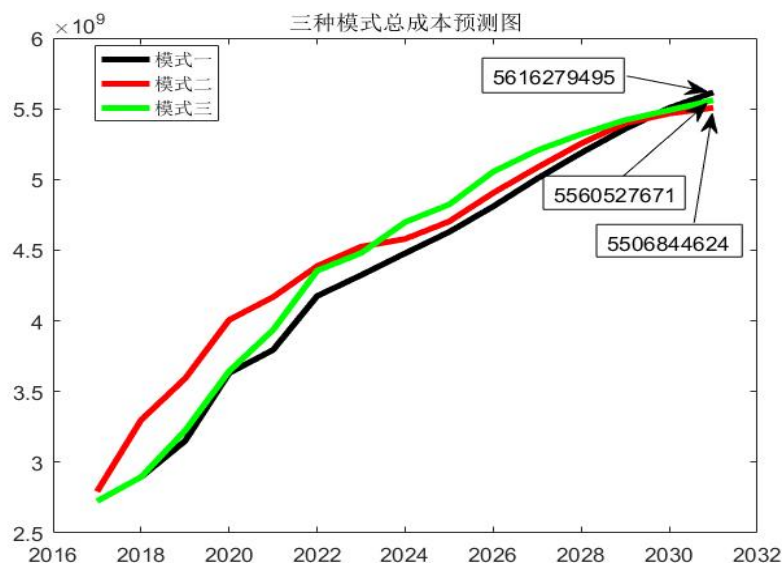


图 17: 三种成本总成本预测图

### 1) 社会经济总成本效益

垃圾不分类的模式一在 2032 年的社会经济总成本达 5616279495 元，高于垃圾分类的模式二、三，分别为 55 亿元与 55.6 亿元。模型趋势表明模式一增长速度将远高于模式二、三。这说明垃圾分类从长远的角度来看，有着可观的经济效益，可以极大地降低社会成本，并将垃圾处理费用稳定在一个范围类，小范围波动，不会造成指数性增长。

模式二在第二问核算成本中费用较高，而在更长期的核算中费用降低，并趋于平缓稳定。研究表明：人要养成一个良好的习惯至少需要 21 天，而社会要形成一个良好的风气至少需要 8 到 12 年。<sup>[18]</sup> <sup>[19]</sup> 所以我们假设深圳市垃圾分类意识深入人心并使市民养成良好的生活习惯（含垃圾分类习惯）需要 10 年，期间还由于垃圾分类率要求不断提高，只有不断追加宣传、激励与督导的费用；而十年后居民养成良好素质，宣传费用可以大为缩减，激励与督导费用也有一定减少。所以突然有成本下降。我们研究其成本构成后，也发现各项成本组成稳定，比例相对恒定，数值仅随垃圾处理量上升而上升。

模式三与模式二在中长期的成本效益相当，但末端分类不利于促进市民减少垃圾排放的意愿，从更长期的角度来讲，反而刺激市民制造垃圾，因为没有感受到垃圾分类所带来的辛劳，并减少自身在垃圾处理环节中的参与，不是一个长久之策。同时，图中表面模式三与模式二处理成本都将趋于平缓，而模式三成本高于模式二，长期地看，模式三成本将高于模式二。

从社会经济总成本效益的角度来讲，前端垃圾分类的模式二优于后端垃圾分类的模式三，并大优于垃圾不分类的模式一。

### 2) 健康成本效益

比较数据	模式一	模式二	模式三
远期健康成本（2026 年）（亿元）	9.23	2.69	4.48

表 49: 模式一、二、三远期健康成本

至 2026 年，垃圾不分类的模式一的健康成本达到 9.23 亿元，远远高于其他模式。模式三的健康

康成本为 4.48 亿元，近乎高出模式二 2.69 亿元一倍。所以从健康角度而言，前端垃圾分类的模式二是所有模式中的最优模式。本文主要核算二噁英带来的健康成本效益（大气污染），人类短期接触高剂量的二恶英，可能导致皮肤损害，如氯痤疮和皮肤色斑，还可能改变肝脏功能。长期接触则会牵涉到免疫系统、发育中的神经系统、内分泌系统以及生殖功能的损害。

同时，生活垃圾还主要通过土壤污染、地表和地下水的污染影响人体健康。生活垃圾简单堆放，往往会造成垃圾遍布、污水横流、蚊蝇滋生、散发臭味，还会成为各种病原微生物的滋生地和繁殖场，影响周围环境，危害人体健康。而在垃圾产生的源头分类，可以减少垃圾混合堆放乃至相互作用恶化的时间，从而减少蚊虫和各类病原体滋生，减少对周围人体健康影响。

所以从健康成本效益的角度分析，前端分类的模式二能带来最大收益，并把对人民健康的伤害控制到最小范围。

### 3) 社会环境成本效益

从社会自然环境而言，推行垃圾前端分类，可以减少土地侵占，从而缓解深圳市巨大的用地压力，降低垃圾处理过程中因堆积产生的不必要的土地机会成本。随意丢弃的垃圾中的细小固体废物会随风飞扬，加重大气污染。在大量垃圾露天堆放的场区（前端不分类的常态）臭气熏天，渗滤液污染土壤，蚊虫老鼠肆虐成灾，大量氨硫化物等有害气体向大气释放，传入居民活动场所，造成环境污染，同时还有极大可能传播疾病，也会影响一个小生态系统的平衡。甚至部分简单堆积覆盖的垃圾集中处，会产生大量甲烷等易燃气体，对周围居民生活造成威胁。而实行前端垃圾分类，可以扼杀这些不良影响于摇篮之中。

同时前端分类还能促成一个好的社会氛围。在一个生活环境优美，居民生活垃圾分类，还会正反馈，进一步增强居民垃圾分类意识，从而形成良性循环。

### 4) 总垃圾量减量效益

根据调查深圳市垃圾处理第一线的同志与查询资料，得出结论：前端垃圾分类有利于垃圾减量。当人们要丢垃圾时意识到还有垃圾分类这一步骤时，会对丢垃圾这一行为产生一定的反感，从而又会减少自身垃圾的产生量，达到从源头垃圾减量的目的。而不进行垃圾分类或者垃圾后端分类，使人在丢垃圾的过程中不会感到困难与垃圾处理过程中的参与度，降低人的责任心，这会刺激人产生更多的垃圾，导致垃圾增长速度加快。

## 4.3.2 通径分析

### 1) 模型选择

通径分析可用于分析多个自变量与应变量之间的线性关系，是回归分析的拓展，可以处理较为复杂的变量关系。可用于分析多个自变量与应变量之间的线性关系，是回归分析的拓展，可以处理较为复杂的变量关系。若因变量  $Y$  受  $n$  个自变量  $X_i$  的多种因素影响，并且他们之间存在线性关系时，可得到回归方程：

$$Y = A_0 + A_1X_1 + A_2X_2 + \dots + A_nX_n + \varepsilon \quad (24)$$

其中  $\varepsilon$  为误差项， $A_i$  是线性回归模型的回归系数， $\varepsilon$  是其他因素对  $Y$  的综合影响，与其他变量独立。而由于通径分析系数是标准化回归系数，因此实际使用时将对自变量与因变量进行标准化处理。令

$$Z_i = \frac{X_i - X^m}{D_i} \quad (25)$$

$$Z_y = \frac{Y - Y^m}{D_y} \quad (26)$$

其中  $X^m$  与  $Y^m$  是各组变量的平均值,  $D_i$  与  $D_y$  表示各组数据的极差。由此之后得到标准化回归方程:

$$Z = B_0 + B_1 Z_1 + B_2 Z_2 + \dots + B_n Z_n + \varepsilon \quad (27)$$

其中  $\varepsilon$  为误差项,  $B_i$  是线性回归模型的回归系数, 即通径系数。由此可见通径系数是一个无量纲数, 其取值直接大小反映了各自变量对因变量的直接影响力。

## 2) 模型建立及计算结果

首先我们考虑影响垃圾量的因素, 不同的因素对垃圾量的影响程度不同, 因此我们选定 11 个因子: 上一年的设施配置费用、常住人口数量、户籍人口、人均 GDP、户籍人口比例、居民对环境的满意度、完成高等教育人数、完成义务教育人数、样本受到宣传的影响、样本所受激励影响、样本所受督导影响, 取因变量为年垃圾量。

其中上一年的设施配置费用、常住人口数量、户籍人口、人均 GDP、户籍人口比例、完成高等教育人数、完成义务教育人数等七个变量可以在深圳市统计年鉴上找到相应数据, 或经过计算可以得出。居民对环境的满意度、样本受到宣传的影响、样本所受激励影响、样本所受督导影响等四个变量没有相应数据, 所以我们采用问卷调查的方式, 按照随机取样的原理, 收集到近两百份原始数据, 经过数学处理后得到统计数据。具体数据见附录。

由于各个因子数量级差别较大, 因此将 11 个因子与垃圾量进行归一化处理, 再进行通径分析。归一化公式:

$$X_{new} = \frac{X - X_{mean}}{X_{standard}} \quad (28)$$

其中  $X$  是任一组因子量,  $X_{mean}$  是某一组因子量的平均值,  $X_{standard}$  是某一组因子量的标准差。得到线性回归系数如下图所示。

因子名称	通径系数
上一年设施配置费用	0.3
常住人口数量	2.24
户籍人口	-0.03
人均 GDP	0.52
户籍人口比例	0
居民对环境满意度	-0.72
完成高等教育人数	-0.74
完成义务教育人数	0.69
样本所受宣传影响	-0.25
样本所受激励影响	-0.63
样本所受督导影响	-0.08

表 50: 各因子关于垃圾产生量的回归系数

## 3) 结果分析

从直接影响力 (通径系数) 可以看出, 常住人口数量与垃圾量的正相关度最高, 达到 2.24。人均 GDP、居民对环境的满意度、样本所受激励影响也较高, 分别达到 0.52, -0.72, -0.63。紧随的影响因子还有上一年的设施配置费用与样本所受宣传影响, 达到 0.3 与 -0.25。其余因子没有显著的相关性。这表明, 常住人口数量、人均 GDP、居民对环境的满意度、样本所受激励影响、上一年的设施配置费用、样本所受宣传影响和垃圾量的多少都有着密切关系。

- 常住人口数量: 深圳市人均产生垃圾量, 按照政府的统计数据, 在 1.0 到 1.5 之间; 而垃圾量最为简单的计算办法, 就是人数乘以人均垃圾量, 所以常住人口数量对垃圾量的直接影响力最高, 达到了 2.24。但随着深圳市人口逐年攀升, 垃圾量的快速增长是不可避免的。

- 人均 GDP：人均 GDP 的直接影响力排到了正相关系数的第二位，达到 0.52，这说明随着深圳市人均财富拥有量的上升，市民消费量上升，很大程度上导致垃圾量的上升。深圳仍处在快速发展上升期，随着人均 GDP 不断提升，垃圾量也会不断增多。
- 居民对环境的满意程度：居民对环境的满意程度是负相关系数中最高值，其直接影响力达到 -0.72，说明深圳居民对环境的满意程度越高，则其产生的垃圾量会减少。根据环保调查发现，人在对待环境问题上同样有“破窗效应”，即生活环境越干净，人会倾向于保护环境；而当环境遭到破坏达到一定水平时，人的环保意识会下降，会不由自主的丢弃垃圾等等。所以居民对环境满意程度和垃圾产生量密不可分，且有着重要的启示意义。
- 样本所受激励影响：样本所受激励影响对垃圾产生量有着较大的影响，影响力达到 -0.63，说明受到激励会显著的减少垃圾量的产生。据调查，一个人在没有受到激励的情况下，仅能发挥其自身能力的 20% ~ 30%，而在受到充分而正确的激励的情况下，则能发挥其自身能力的 80% ~ 90%。其间差别可达 60% 乃至更多。一个受到激励的人的作用相当于 3 ~ 4 个未受到激励的人所起的作用。所以增大对深圳市民的激励，可以显著地减少垃圾的产生量，这有着极大的指导意义。
- 上一年的设施配置费用：上一年的设施配置费用与最终垃圾清运量的通径系数达到了 0.3，说明最终清运量部分决定于上一年的设施配置费用。究其原因，城市垃圾量增大，政府势必增加垃圾桶的购买数量，增加环保措施的数量，所以垃圾清运量和上年的垃圾设施配置费用成正相关。
- 样本所受宣传影响：样本所受垃圾分类、环境保护方面的宣传，在一定程度上降低了个体产生垃圾的欲望，所以样本所受宣传影响的直接影响力达到了 -0.25。加强宣传，能够较为有效的减少垃圾量。
- 完成高等/义务教育人数：分别看完成高等教育人数与完成义务教育人数，它们都有着很高的直接影响力，分别是 -0.74 与 0.69，说明完成高等教育的人数增多可以减少垃圾的产生，完成义务教育的人数减少反而会增加垃圾的产生量，而且两者的直接影响力相当，所以这里产生了矛盾。经过分析，一正一负的两项都不具备直接影响垃圾量的能力，它们共同作用反而相互抵消，也证明它们并不具备直接影响垃圾量的能力。所以单从拟合效果而言，不予考虑。
- 户籍人口与户籍人口比例：户籍人口的直接影响力为 -0.03，户籍人口比例的直接影响力为 0，两项均不会对垃圾产生量造成影响。所以本次不考虑上述两项。

#### 4.3.3 前端分类对垃圾总成本的影响

##### 1) 家庭分类

参考各国的家庭垃圾处理方式，将垃圾细分为可燃垃圾、不可燃垃圾、玻璃、其他垃圾等，并单独回收。对于成本的影响，主要为政府宣传投入的增加以及因为家庭垃圾分类率的提升使得处理费用的减少量，而对于个人家庭，改变的则是垃圾投放的习惯，以及个人产生的垃圾量。

根据对未来垃圾量、相关费用的占比可以看出，随着年份的增加，家庭垃圾分类会逐步提升，对应的前端垃圾投放收集费用、厨余处理费逐年增加，而对于垃圾运输费占比、填埋处理费占比、健康成本占比等都会有明显下降。根据三种模式的成本预测图可以看出，模式一将会达到最高，而采用了前端分类处理的模式二的成本将放慢增速，因此前端垃圾分类可以有效降低未来的垃圾处理社会总成本。

实行家庭分类政府相应增加的投入有：

- 制定相关法律法规，将垃圾分类逐渐提升至公民义务。

- 加大宣传力度，如公益广告、公共交通的宣传栏
- 按一定比例对表现较好的居民进行奖励
- 社区内建立不同垃圾的小型回收站，定期转运

相应减少的有：

- 垃圾产生量
- 垃圾处理费用
- 健康成本

下面建立相应模型。首先考虑宣传费用的增加。为达到较好的宣传效果假设宣传费用呈线性增加。取前 5 年的深圳市垃圾分类宣传费用进行线性拟合：

$$y_x = a * (x - 2012) + b + \epsilon_x \quad (29)$$

其中： $x$  表示年份， $y_x$  表示第  $x$  年的宣传费用。 $a$ 、 $b$ 、 $\epsilon_x$  为拟合参数。

可以直接根据回归系数  $a$  预测未来宣传费用的增加，添加到社会总成本中。由于自变量、因变量数量级差别较大，因此对宣传费用进行标准化处理。由往年数据，通过 OLS 回归可得： $a = 0.3106$   $b = -1.8960$

回归结果如下：

OLS Regression Results						
Dep. Variable:	y	R-squared:	0.999			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.998			
Method:	Least Squares	F-statistic:	6156.			
Date:	Wed, 02 Aug 2017	Prob (F-statistic):	4.49e-14			
Time:	22:09:31	Log-Likelihood:	20.304			
No. Observations:	11	AIC:	-36.61			
Df Residuals:	9	BIC:	-35.81			
Df Model:	1					
Covariance Type:	nonrobust					
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
const	-1.8960	0.027	-69.410	0.000	-1.958	-1.834
x1	0.3160	0.004	78.461	0.000	0.307	0.325
Omnibus:	1.735	Durbin-Watson:	0.662			
Prob(Omnibus):	0.420	Jarque-Bera (JB):	0.989			
Skew:	0.399	Prob(JB):	0.610			
Kurtosis:	1.768	Cond. No.	14.8			

表 51: 家庭分类模型的回归结果

根据历年深圳市居民的垃圾分类比例  $k$ ，以及四类成本：前端分类收集成本、运输成本、处理成本、健康成本，分别根据四类成本与当年的垃圾分类率建立线性模型：

$$y_x = a_i * k + b_i + \epsilon_i \quad (30)$$

其中  $y_i$  表示第  $i$  项成本， $a_i$ 、 $b_i$ 、 $\epsilon_i$  为拟合参数。

由于无法得到往年深圳市居民垃圾分类比例，考虑可回收垃圾的回收比例，由于二者关系密切，因此可以有效代替。结果如下：

	a	b	$R^2$
前端	2.87	-1.51	0.716
运输	-2.55	1.34	0.864
处理	1.31	-1.74	0.949
健康	-2.37	1.25	0.787

表 52: 成本与垃圾分类率的关系



由此得到四种成本与深圳市居民垃圾分类率的关系。根据对应的则可以判断家庭分类对单独一类成本的影响，对政府工作有积极的指导意义。

比较明显的是，对于运输成本、健康成本的是负数。居民垃圾分类比例的提升得益于政府的宣传、新制定的法律法规以及居民素质的提升、环保观念的进步，高的垃圾分类率暗含了垃圾总量的减少，直接减少了运输成本、二噁英等有害气体的产生以及对应的环保成本。

因此，综合四类成本与宣传费用：

$$Y = \sum_{i=1}^4 y_i + y_x \quad (31)$$

其中  $Y$  表示社会总成本， $y_i$  表示单独一类的成本，与垃圾分类比例相关； $y_x$  表示  $x$  年份的宣传费用

因此可以得到社会总成本与居民垃圾分类比例的关系：

$$Y = \sum_{i=1}^4 a_i * k + \sum_{i=1}^4 (b_i + \epsilon_i) + a * (x - 2012) + b + \epsilon_x \quad (32)$$

最后，根据  $\sum_{i=1}^4 a_i$  的大小来判断居民垃圾家庭分类率对社会总成本的影响。可以看出， $\sum_{i=1}^4 a_i$  为负数，因此居民分类率越大，社会总成本越低。

可以预见，垃圾处理总成本应当与垃圾分类率  $k$  呈负相关，如果采取强制家庭垃圾分类，则会增加每个家庭处理垃圾的时间与精力，从而导致居民不愿产生过多的垃圾，从而大大减少居民平均垃圾产生量，减轻政府的垃圾收集、运输、处理工作量，减弱因垃圾处理产生的环境问题，最终减少深圳市垃圾处理的社会总成本；另一方面，居民甚至对部分“垃圾”直接循环利用，会妥善处理诸如玻璃瓶、塑料袋等有重复利用价值的废弃物，有效利用自然资源，减少消费品的购买，减缓自然资源的开采，促进可持续发展。因此采用垃圾家庭分类可以显著减少垃圾处理的社会总成本。

## 2) 专业分类

专业化分类是指少数人利用技术、技能及设施设备进行垃圾分类。专业化分类的特点在于实行垃圾分类的方式与过程不在于公众参与及社会化而是专业化，即专有技术、专用设备、专业人员。

因此在前端分类的费用上，须有很大一部分支出用于设备的购买与维修、专业人员的酬劳。而对于每年产生垃圾量，由于该部分与居民无关，因此不会减少垃圾产生量。而对于分类后的垃圾，可有效提取可回收垃圾、可燃垃圾等，有效促进部分垃圾的循环利用，减少垃圾处理量（焚烧、填埋等），缓解处理厂压力，减少环境污染带来的健康成本。

实行家庭分类政府相应增加的投入有：

- 分类设备的购买
- 专业人员的酬劳

相应减少的有：

- 垃圾处理成本
- 健康成本

下面建立相应的模型。首先考虑增加的成本：假设分类设备的数量与预计年垃圾量呈正比，则增加的成本可表示为：

$$Y = w * \frac{N}{365 * k_1} + k_2 * N = (w * \frac{1}{365 * k_1} + k_2) * N \quad (33)$$

其中： $Y$  为专业分类带来的成本增加量、 $N$  为预计年垃圾产生量、 $w$  为分类设备的单价、 $k_1$  为分类设备每天垃圾处理量、 $k_2$  为处理单位垃圾支付给专业人员的分类成本。

根据预计的年垃圾产生量以及单个分类设备的处理能力，可以估算出需要的分类设备数量，而对于支付给专业人员的劳务费，应当与预计年垃圾产生量成正比，垃圾量越大，成本越高。

由于缺乏相关数据，因此采用模式三中的末端分类成本进行核算。通过对垃圾量与末端分类成本线性回归可得：

比例系数为  $1.075 \times 10^{-5}$ ，回归结果如下：

OLS Regression Results						
=====						
Dep. Variable:	y	R-squared:	0.999			
Model:	OLS	Adj. R-squared:	0.998			
Method:	Least Squares	F-statistic:	6300.			
Date:	Fri, 04 Aug 2017	Prob (F-statistic):	4.05e-14			
Time:	00:51:45	Log-Likelihood:	-47.344			
No. Observations:	10	AIC:	96.69			
Df Residuals:	9	BIC:	96.99			
Df Model:	1					
Covariance Type:	nonrobust					
=====						
	coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
=====						
x1	1.075e-05	1.35e-07	79.372	0.000	1.04e-05	1.11e-05
=====						
Omnibus:	1.659	Durbin-Watson:	0.182			
Prob(Omnibus):	0.436	Jarque-Bera (JB):	0.915			
Skew:	-0.380	Prob(JB):	0.633			
Kurtosis:	1.728	Cond. No.	1.00			

表 53: 专业分类模型的回归结果

其次考虑减少的成本：从前文对三种模式的分析来看，专业分类对于社会总成本的减少与家庭分类相类似，由于部分垃圾回收利用，减少了用于焚烧、填埋的垃圾总量，对于垃圾处理成本、健康成本等都有明显的降低。

综上所述可以看出，无论是家庭分类或是专业分类，都能有效减少最终垃圾处理量，从而减少垃圾处理成本与健康成本。

但是相较于家庭分类，专业分类由于没有涉及到居民的生活，因此不会减少垃圾的产生量，反而增加了专业分类的支出，并且对于垃圾转运有较大压力。而家庭分类可直接在源头控制垃圾的产生，部分垃圾直接重复利用，减少了垃圾清运成本。而政府对于垃圾减排的宣传费用也将在居民习惯养成、相关规定制度制定后逐渐降低，可见家庭分类相较于专业分类有明显优势，但是二者均是目前减少垃圾处理社会总成本的好办法，在未来的几年应当由二者共同存在，在家庭分类制度逐渐完善后专业分类的规模将逐渐减小，直至转换为后端分类，以检查垃圾是否正确分类为主。

#### 4.3.4 因子分析

##### 1) 模型选择

因子分析是寻找潜在的起支配作用的因子模型的方法。因子分析是根据相关性大小把变量分组，使得同组内的变量之间相关性较高，但不同的组的变量相关性较低，每组变量代表一个基本结构，这个基本结构称为公共因子。对于所研究的问题就可试图用最少数个数的不可测的所谓公共因子的线性函数与特殊因子之和来描述原来观测的每一分量。通过因子分析得来的新变量是对每个原始变量进行内部剖析。因子分析不是对原始变量的重新组合，而是对原始变量进行分解，分解为公共因子和特殊因子两部分。具体地说，就是要找出某个问题中可直接测量的具有一定相关性的诸指标，如何受少数几个在专业中有意义、又不可直接测量到、且相对独立的因子支配的规律，从而可用各指标的测定来间接确定各因子的状态。因子分析只能解释部分变异，主成分分析能解释所有变异。

为了了解深圳市垃圾产生的成因，统计九年十一个指标的数据，用  $X_i$  表示 11 个指标，上一年的设施配置费用、常住人口数量、户籍人口、人均 GDP、户籍人口比例、居民对环境的满意度、完成高等教育人数、完成义务教育人数、样本受到宣传的影响、样本所受激励影响、样本所受督导影响。我们对这些资料进行归纳分析，得出全部变量  $X$  所共有因子有  $m(m < 11)$  个，分别记为

$F_i$ ，即

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + a_{i3}F_3 + \dots + a_{im}F_m + \varepsilon_i \quad (34)$$

用这  $m$  个不可观测的互不相关的公共因子  $F_i$  和一个特殊因子  $\varepsilon_i$  来描述原始可测的 11 个相关变量，并解释分析垃圾回收量的自变量间的相互影响关系。它们的系数  $a_{ij}$  称为因子载荷。

## 2) 模型建立与计算结果

我们希望找到所选 11 种因子中的隐藏因子，并更好的解释 11 个因子的宏观意义，与年垃圾量衔接。

我们采集了 9 年的数据，共有 11 个指标。基于前期模型，为方便进行因子分析法，删除了户籍人口、户籍人口比例、完成高等教育人数等三个影响关系不大或者不准确的指标，形成一个 9 行 8 列的评价矩阵。使用因子分析法，首先得到因子的相关矩阵如下：

相关矩阵 <sup>a</sup>									
		VAR00001	VAR00002	VAR00003	VAR00004	VAR00005	VAR00006	VAR00007	VAR00008
相关	VAR00001	1.000	.864	.981	.959	.968	.943	.912	.755
	VAR00002	.864	1.000	.837	.781	.948	.752	.915	.545
	VAR00003	.981	.837	1.000	.980	.953	.945	.918	.706
	VAR00004	.959	.781	.980	1.000	.912	.941	.856	.690
	VAR00005	.968	.948	.953	.912	1.000	.895	.937	.683
	VAR00006	.943	.752	.945	.941	.895	1.000	.796	.879
	VAR00007	.912	.915	.918	.856	.937	.796	1.000	.507
	VAR00008	.755	.545	.706	.690	.683	.879	.507	1.000
Sig. (单侧)	VAR00001		.001	.000	.000	.000	.000	.000	.009
	VAR00002	.001		.002	.006	.000	.010	.000	.065
	VAR00003	.000	.002		.000	.000	.000	.000	.017
	VAR00004	.000	.006	.000		.000	.000	.002	.020
	VAR00005	.000	.000	.000	.000		.001	.000	.021
	VAR00006	.000	.010	.000	.000	.001		.005	.001
	VAR00007	.000	.000	.000	.002	.000	.005		.082
	VAR00008	.009	.065	.017	.020	.021	.001	.082	

表 54: SPSS 因子分析所得相关矩阵

可以看出，因子的相关性很高，都是同向指标，对隐藏因子的寻找有积极的意义。使用统计的方法进行 KMO 检验、Bartlett 检验：

KMO 和 Bartlett 的检验		
取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量。		.424
Bartlett 的球形度检验	近似卡方	135.618
	df	28
	Sig.	.000

表 55: SPSS 因子分析所得 KMO 与 Bartlett 检验系数

通过将各因子占比汇总，得到成分矩阵与碎石图如下：

变量名称	隐性因子 1 贡献度	隐性因子 2 贡献度	隐性因子 3 贡献度
上一年设施配置费用	0.991	0.008	-0.046
常住人口数量	0.893	-0.322	0.296
人均 GDP	0.984	-0.023	-0.160
居民对环境满意度	0.958	0.029	-0.261
完成义务教育人数	0.980	-0.136	0.096
样本所受宣传影响	0.957	0.266	-0.063
样本所受激励影响	0.922	-0.338	-0.005
样本所受督导影响	0.764	0.608	0.209

表 56: 因子分析成分矩阵

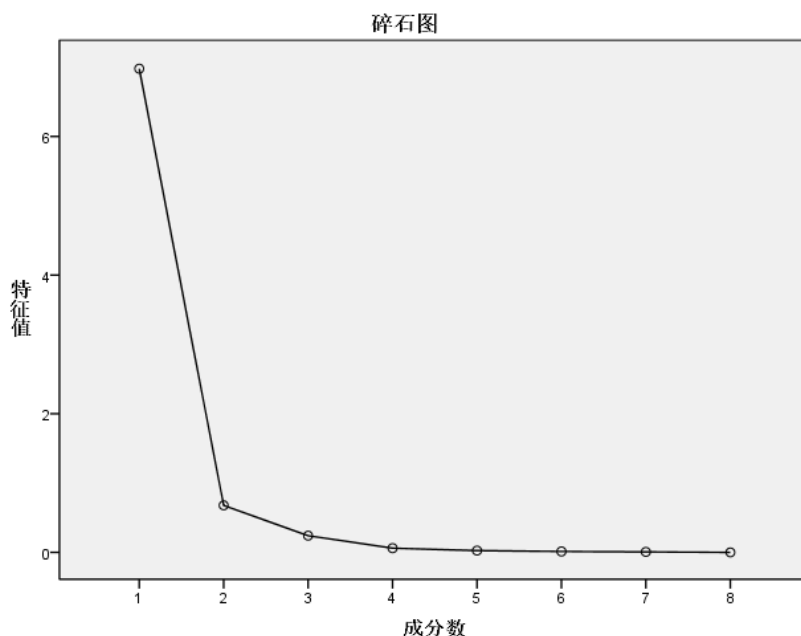


图 18: SPSS 因子分析碎石图

### 3) 结果分析

通过成分矩阵可以看出，8 个因子经降维后形成了 3 个综合因子，这 3 个隐藏因子的累计特征值达到了 98.693%，大于 95%，基本可以代表原来的 8 个因子所包含的信息。观察成分矩阵可以看出，第 1 个因子对第一个主成分影响最大，达到 99.1%，第 8 个因子对第三个主成分影响最大，第 2 个因子对第三个主成分影响最大。而这三个因子分别为：设施配置费用、常住人口数、样本受督导影响。因此，从宏观层面考虑降维后的 3 个综合因子，可以理解为公民的环保意识、行动力、政府政策，最后这三个综合因子再影响到年垃圾量。再结合碎石图分析，发现第一个综合因子和各变量间相关度比较高。基于调查，我们认为这个隐性因子为公民环保意识。其间的关系图如下：

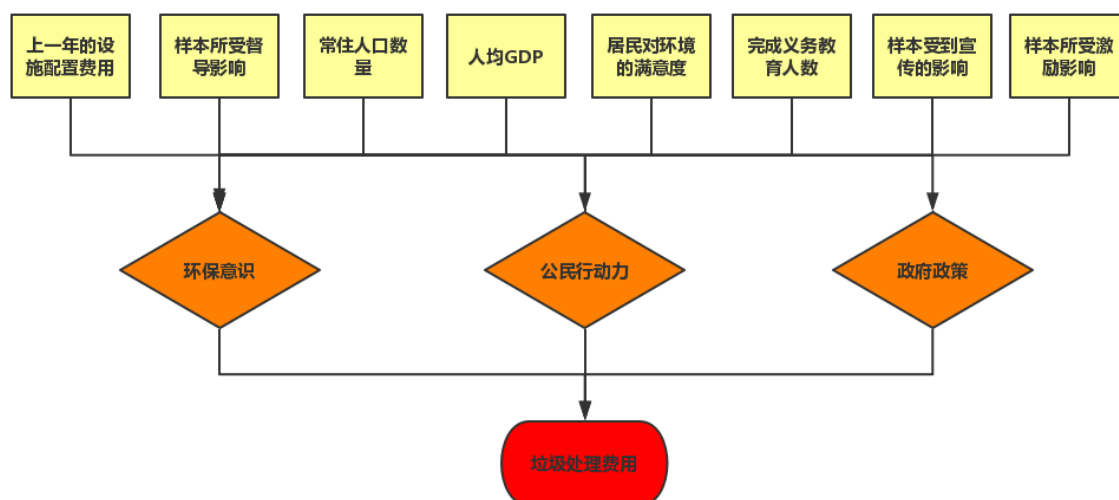


图 19: 因子分析关系图

### 4.3.5 建议

根据以上模型结果与分析，结合相关政策与现状，给政府提出的相应的决策建议如下：

- **明确垃圾处理相关部门责权，加强有效沟通与合作，同时，对不作为人员加强惩处。**在实地调查的过程中，我们发现部分工作人员不熟悉业务，对自身责任与义务也不甚明了，甚至互相推诿。深圳需建立行之有效的监督机制，立法指明行政主管部门的监督管理责任，明确规定企业回收利用废弃物的义务，避免一个单位管理所有业务的局面。
- **逐步推进垃圾分类收集、干湿分开处理的垃圾处理模式。**从本文模型结果以及成本效益分析中可以看出针对深圳市，前端分类收集、干垃圾焚烧处理、湿垃圾生物处理的垃圾处理模式从长远看最优，远期社会成本较少且社会效益可观。由于此种处理模式无法短时间内形成，同时为了解决目前“垃圾围城”的问题，深圳市政府可以先在 1-2 年内实现混合收集、全量焚烧的垃圾处理模式，与此同时大力推进前端垃圾分类工作；此后在前端分类收集效果未达到理想状态时，在未来 3-5 年内实现末端分类后分别处理的过渡模式，可以利用末端人工或高压压榨技术将干湿垃圾分类后分别进行焚烧和厌氧发酵处理；大力推行前端垃圾分类有一定效果时，深圳市可推行实现最优处理模式，在未来 5-10 年内实现前端分类收集，后端干湿分类处理的模式，最小化土地占用面积以及社会成本，最大化社会效益与资源利用率。
- **健全垃圾分类的法律法规。**法治是开展垃圾分类工作的基础。目前，垃圾分类方面的法律法规还有待完善。政府应加快完善相关法律制度，推动出台具体的法规、规章，依法推进生活垃圾强制分类。
- **积极开展公共场合宣传教育工作。**从本文模型结果科技看出前段分类模型中宣传对垃圾减量有着显著的效果，而新宣传是到前段分类效果的重头工作。宣传工作一直是政府工作的重点，而垃圾分类问题已迫在眉睫。现在的宣传仅仅停留在简单的纸质传单、海报，故应加大宣传力度。跟上网络化、信息化的时代潮流，制造关于垃圾分类的热点话题，增加垃圾分类行为的舆论支持力度，在各大社交平台上推文、宣传，增加有关垃圾分类的广告，制作关于垃圾围城等内容的宣传片、纪录片，使“垃圾分类迫在眉睫”、“减少垃圾产生，从我做起”等观念深入人心。通过建设生活垃圾分类示范教育基地、开展垃圾分类收集专业知识和技能培训、建立垃圾分类督导员及志愿者队伍等措施，形成良好的全民参与氛围，确保分类工作有效推进。
- **积极开展未成年人宣传教育工作。**模型中宣传对垃圾减量有着显著的效果。宣传工作除了上条提及的加强力度、多样化宣传方式，政府还应多在幼儿园、小学等处举办垃圾分类的宣传活动，首先影响教师与学生，再让教师影响更多的学生，让学生来影响家庭，这样走亲情影响路线，能使不关心垃圾分类的人关注垃圾分类，逐渐被影响。同时，垃圾分类观点也深入下一代心中，将来的社会氛围会更佳。
- **在近期大力执行垃圾分类激励政策。**模型中样本受激励程度对垃圾减量有着显著的效果。通过激励的手段，引导民众垃圾分类，让民众直接感受到垃圾分类带来的经济效益，增加市民参与垃圾分类的热情，帮助其养成垃圾分类的习惯。如小区居民，可以利用垃圾分类实名制、对扔出垃圾验收打分等方式从每十户中奖励一个垃圾分类典型户，单位时间内给予奖励，或以赠送生活必需品、减免物管费的形式，让民众直接受益于垃圾分类，以此加强民众对垃圾分类的意识，加快垃圾分类进程。此外，除了激励居民，政府可以通过对垃圾分类指导志愿者以及进行“二次分拣”工作的清洁工给予相应的补贴，对垃圾分类工作出色的小区以及街道给予奖励和补贴，通过激励的方式推动建立垃圾分类的良好氛围。
- **加大督导力度。**在垃圾箱处安排志愿者或者专业人士，引导居民垃圾分类，对于态度极端恶劣者，可以采取惩罚措施。
- **参考台湾、香港等地区的生活垃圾分类处理经验，运用经济杠杆促使垃圾减量分类。**参考台湾地区的垃圾费随袋征收制度构建适合深圳市的垃圾收费方式，强化在垃圾减量分类和资源



回收中的经济诱因，充分发挥经济杠杆作用，通过收费与处罚和奖励并行的方式推进垃圾分类减量。

- **将垃圾分类细化。**如日本将其细分至可燃垃圾、不可燃垃圾、资源型垃圾、粗大垃圾、废弃家电；德国将其细分至有机垃圾、轻型包装、旧玻璃、问题物质、其他垃圾；瑞典甚将同种垃圾进行进一步细分（比如区分报纸和牛奶包装纸）。
- **设置废弃物品交换处（参考瑞典）。**将不用但功能完好的废弃物品放置其中，与他人交换。减少垃圾的产生。
- **引进高效率垃圾脱水设备。**现垃圾混合收集，干湿未分。现有处理（干燥）垃圾效率低下，使燃烧热值上升，垃圾处理量减少。因此可以在干湿垃圾分类的过渡期，引进高效率垃圾脱水设备可在现阶段增加垃圾燃烧率，减少二恶英的物质排出。
- **确保投放、分运设备的投入。**在前端垃圾分类工作有一定成效后，政府应及时确保分类投放设备的供应、加大环卫分装、分运设备的投入，确保分类后的垃圾能分类运输与处理。
- **逐步推进前端家庭分类制度的建立与完善。**从本文模型结果与分析中可看出前端家庭分类和专业分类都能有效减少最终垃圾处理量，但家庭分类可在源头控制垃圾产生，减少垃圾处理社会成本，优于专业分类。但家庭分类制度无法短时间内建立并完善，因此政府可以在未来的几年内同时推行两种分类制度，随着前端分类收集的大力推进，在家庭分类制度逐渐完善后将专业分类的规模逐渐减小，并最终在未来 5-10 年内在全社会实行家庭分类制度。
- **加快厨余垃圾处理设施建设。**在大力推动前端干湿分类收集的同时，政府应加快相应的厨余垃圾处理设施建设，大力推动厨余垃圾处理技术与设施的完善，确保厨余垃圾的处理能力。
- **明确低价值可回收物与有害垃圾回收流程与回收处理补贴标准，加快培育大型龙头企业，推动再生资源规范化、专业化、清洁化处理和高值化利用。**在大力推进前端垃圾分类工作的同时，低值可回收物的回收与社会资源化程度密切相关，与其他工作同等重要。深圳市政府应尽快明确收运企业与回收处理补贴标准，打通低值可回收物的产业链。随着前端垃圾分类程度的提高，政府应加大对可回收物的收运频率和回收处理的监督，同时建立健全循环经济产业链，鼓励企业引进和研发环保再生技术，鼓励更多人员从事资源回收产业，充分调动社会积极性，推进社会资源回收率的提高。
- **关于深圳生活垃圾基础数据调查统计内容，**该统计分析数据详细且多样，包括深圳市生活垃圾清运量的统计和利用系统动力法进行清运量的预测，以及对深圳市 7 个主要的垃圾处理设施分别采样分析物理组成、物理特性和工业特性，数据丰富且具体，物理组分分类细致、所计算的垃圾特性数据多样。该统计分析中详尽的介绍了采样方法、样品制备方法与特性的测定步骤和计算公式，保证了数据的科学性。此外，该统计分别列出了 7 个不同处理设施内的各种特性数据并分析，并且就生活垃圾中的可回收物及其社会效益进行分析和估算，具体且分析性较强。另外，该统计包括了深圳市历史数据的对比分析以及深圳与国内外的数据对比分析，数据的对比分析十分丰富，更加全面的分析了深圳市生活垃圾特性的变化以及与其他发达国家或城市之间的差距，对政府决策有较好的参考性，给政府决策提供了实用性和针对性较强的建议和意见。
- **针对深圳生活垃圾基础数据调查统计内容，提出以下几点改进意见：**1.除了已统计和计算的生活垃圾各种特性之外，参考香港、台湾等地区的垃圾性质统计数据，可增添生活垃圾可燃组分中的化学元素统计分析，例如碳含量、氧含量、氯含量等，为生活垃圾的可燃性质以及后续处理方式提供更详细的化学性质数据支持，另外也可增添垃圾粒度数据等，丰富数据多样

性。2.增添生活垃圾资源回收量与回收率的统计，随着垃圾分类的推进，针对资源回收率的统计分析可以更好地反映分类工作的进程和深圳的整体资源回收产值。3.借鉴台湾地区的垃圾统计数据，将垃圾产生量与垃圾清运量分别统计，产生量为城市居民生活垃圾实际产生量；而在统计清运量时，并不包括资源回收量，即可回收物质量及资源回收的厨余垃圾量。可反映生活垃圾源消减程度，此外通过垃圾产生量与垃圾清运量的对比也可反映社会资源回收水平。4.增添统计分析中的数据可视化，更清晰地展现数据特征。5.借鉴台湾、香港等地区的垃圾统计方法，增加垃圾基础数据统计频率并及时公开更新于网络，可以利用构建生活垃圾基础数据库的方式进行管理，结合分类算法、回归分析算法、关联度分析、变化和偏差分析算法等统计方法更深入的分析数据特征与关联度，更好的用于分类效果的评价以及对政府决策的建议。

## 5 模型优缺点及改进

### 5.1 模型优点

- 本社会成本模型基于深圳市实际成本构成，本团队有 6 次外出调研、实地考察，核算模型各项成本合理精准，总成本贴近深圳市实际情况。
- 通过通径分析与因子分析得到相关系数十分贴切，对于寻找指标间的复杂关系提供了较多依据。
- 本文社会成本核算模型中分项成本具体且多样，因此普适性和应用性较强，针对不同的处理方式有对应的成本核算项，可以比较好地应用于除本文四种模式之外的其他垃圾处理模式，只需要根据处理模式中的步骤与对应处理方式选择模型中的对应成本项即可核算社会总成本。
- 本文社会成本核算模型中核算的是中国特色社会主义市场经济体制下，除去垃圾收运处理企业可通过发电等盈利方式自我平衡的成本之外，整个社会所需要花费在城市垃圾处理中的成本，即政府和社会民众等需要在城市垃圾处理中花费的成本。因此本模型能够很好的为政府决策提供参考与建议、核算与估计政府和社会民众在垃圾处理方面所需成本。
- 本文社会成本核算模型中包括了潜在的健康成本，即垃圾处理过程中产生的污染对民众的身体健康造成的损失成本，因此可以更好的估计未来远期的垃圾处理成本。
- 采用 SPSS,matlab,excel 软件定量计算，考虑全面，算法简洁、高效，结果准确。
- 对于不容易量化的感性指标得出了评分方法，此方法可对于实际生活中对物质进行评级，此外通过多元线性回归得到的各指标与质量的关系较为直观。
- 通过通径分析、因子分析两种方式，分析各社会指标与垃圾产生量、垃圾分类率的联系，相互佐证，准确度高，说服力强。
- 考虑不同前端分类对垃圾处理总成本的影响，为政府投入提供量化性建议。

### 5.2 模型缺点

- 本文成本核算模型中没有面面俱到，部分分项成本考虑不够细致。
- 本文成本核算过程中所用假设较为理想，部分分项成本的核算结果不够准确，缺乏考虑实际应用过程中的情况。
- 感性指标采集的样本数可以在以后提高，使代表性更强。

### 5.3 模型推广及改进

对于本文社会成本核算模型，此模型对于核算社会总成本的思路以及量化不同影响的思路值得推广。对于数据的优化问题需要改进，使模型更加简练稳定。如果能得到更多政府未公示数据将使模型更精确。此外，根据实际情况中的政府具体决策及处理模式加之更充足的具体项支出标准与数据可以更好、更准确的进行具体成本的核算。基于更准确的数据，可以在量化性建议上更精确、更有针对性。

## 参考文献

- [1] 《深圳市生活垃圾处理工作志愿者调研笔记》，2015
- [2] 中国人民大学首都发展与战略研究院，《北京市城市生活垃圾焚烧社会成本评估报告》，2017.3
- [3] 深圳市环境卫生管理处，《2015 年深圳市生活垃圾基础数据统计与分析》，2015.9
- [4] 杨朋, 王芙蓉, 陈红忠, 等. 深圳市生活垃圾分类收运系统调研分析 [J]. 环境卫生工程, 2016, 24(4):16-18.
- [5] 隋玉梅, 李振山, 曲晓燕, 杨蕾, 北京市生活垃圾分类小区垃圾桶配置的模拟计算, 北京大学学报 (自然科学版) 网络版 (预印本), 2009 年第 3 期, No.3, Sept.30, 2009 论文编号: pkuxb-w2009044 <http://bdxbw.chinajournal.net.cn>
- [6] 中国土地勘测规划院，《2016 年全国主要城市地价监测报告》，2017
- [7] 张向和. 垃圾处理场的邻避效应及其社会冲突解决机制的研究 [D]. 重庆大学, 2010.
- [8] 深圳市城市管理局，《深圳市生活垃圾焚烧处理设施近期建设补充规划（2015 ~ 2020）》，2015
- [9] 深圳市城市管理局, 深圳市环境科学研究院等,《深圳市生活垃圾焚烧处理设施近期建设补充规划（2015 ~ 2020）环境影响报告书》，2015
- [10] 中华人民共和国建设部. 城市生活垃圾堆肥处理工程项目建设标准 [M]. 中国计划出版社, 2001.
- [11] 深圳市政府，《深圳市餐厨垃圾管理办法》，2012
- [12] 程会强,《出台低值可回收物补贴政策创新“两网融合”体制机制》，[http://sztqb.sznews.com/html/2016-08/30/content\\_3607536.htm](http://sztqb.sznews.com/html/2016-08/30/content_3607536.htm)
- [13] 深圳市城市管理局官网, <http://www.szum.gov.cn/>
- [14] 中国深圳政府采购官网 <http://www.cgzx.sz.gov.cn/>
- [15] 深圳市城市管理局，《深圳市生活垃圾强制分类工作方案》，2017
- [16] 许元, 李聪. 城镇建筑垃圾量的多元线性回归分析 [J]. 砖瓦, 2015, (09): 8-10. [2017-08-03]. DOI: 10.16001/j.cnki.1001-6945.2015.09.002
- [17] ROBB INS S P, COULTER M. Management [M]. Peking: Prentice Hall, 2002: 424 - 455.
- [18] M ICHAE S, R ICHARD Z. Insurance, information and individual action [J]. American economic review, 1971, 61 (2) : 380 - 391.
- [19] 陈子玉, 赵静, 马国强等.《我国城市生活垃圾分类政策实施研究—以南京市为例》[J]. 地域研究与开发, 2016, 35(3): 64-68. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2363.2016.03.013.

- [20] 陈兰芳, 吴刚, 张燕等. 垃圾分类回收行为研究现状及其关键问题 [J]. 生态经济, 2012, (2): 142-145. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4407.2012.02.033.
- [21] 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 [J] 环境卫生工程, 2012, (2), DOI: 1005 — 8206 (2012) 01 — 0020 — 04

## A 核算成本具体数据

四个模式当期与未来的分项成本及社会总成本具体数据如下：

现状模式的分项成本（单位：元），年度垃圾处理社会总成本（单位：元）和单位垃圾处理社会总成本（单位：元）如下表所示：

年份	垃圾处理成本 $C_{Processing}$	健康成本 $C_{Health}$	运输成本 $C_{Trans}$	投放收集成本 $C_{Collection}$	$C_{\text{年度生活垃圾处理社会成本}}$	$A_{\text{单位生活垃圾社会成本}}$
2017	1836494465	371698545	454570080.4	61768784	2724531874	440.1268678
2018	1896821920	383272939.3	468725027.8	63004160	2811824047	440.5110761
2019	2077077499	468273645.2	492716757.4	64264243	3102332145	471.8209402
2020	2414736571	492844490.3	517576318	65549528	3490706906	503.4373781
2021	2523429296	516396241.9	542309939	66860518	3648995995	502.2108166
2022	2801969320	533565734.6	560341027.9	68197728	3964073811	527.9494077
2023	2927549051	633764325.9	621701625.4	69561683	4252576685	557.4063365
2024	3060140961	646190262.5	583391096	70952917	4360675236	560.1389078
2025	3130988645	655056548.4	592282180.3	72371975	4450699349	557.1735969
2026	3257152519	680796492.9	611628278.4	73819415	4623396705	555.3627674

表 57: 现状模式的当期及未来 10 年的分项成本与社会总成本

模式一的分项成本（单位：元），年度垃圾处理社会总成本（单位：元）和单位垃圾处理社会总成本（单位：元）如下表所示：

年份	垃圾处理成本 $C_{Processing}$	健康成本 $C_{Health}$	运输成本 $C_{Trans}$	投放收集成本 $C_{Collection}$	$C_{\text{年度生活垃圾处理社会成本}}$	$A_{\text{单位生活垃圾社会成本}}$
2017	1836494465	371698545	454570080.4	61768783.82	2724531874	440.126868
2018	1899387925	459927527.1	473297557.9	63004159.5	2895617169	453.638426
2019	2040696509	546319252.7	499177340.1	64264242.69	3150457345	479.140104
2020	2372397600	657125987.1	535657679.3	65549527.54	3630730794	523.631929
2021	2478156376	688528322.6	561255361.4	66860518.1	3794800578	522.277881
2022	2768026234	755884790.7	583833093.3	68197728.46	4175941847	556.166744
2023	2840700225	814839847.6	598391722.6	69561683.03	4323493479	566.701753
2024	2982649474	830816051.8	593807364.6	70952916.69	4478225807	575.238553
2025	3062495380	889005315.7	605157608.2	72371975.02	4629030279	579.498467
2026	3182966255	923938097.4	628936812.1	73819414.52	4809660579	577.736798

表 58: 模式一当期及未来 10 年的分项成本与社会总成本

模式二的分项成本（单位：元），年度垃圾处理社会总成本（单位：元）和单位垃圾处理社会总成本（单位：元）如下表所示：

年份	垃圾处理成本 $C_{Processing}$	健康成本 $C_{Health}$	运输成本 $C_{Trans}$	投放收集成本 $C_{Collection}$	$C_{\text{年度生活垃圾处理社会成本}}$	$A_{\text{单位生活垃圾社会成本}}$
2017	1836494465	371698545	454570080.4	130031312.2	2792794402	451.1541
2018	1885756665	453490841.4	466673758.6	492920403.1	3298841668	516.8091
2019	2098848487	509521004.8	487240844.9	496510286.8	3592120623	546.3109
2020	2336883384	533697120.4	481152381.5	654857091	4006589977	577.8392
2021	2570582762	457080640.2	473100820.7	667954232.9	4168718456	573.7401
2022	2849579398	412625484.6	450067302.8	674633775.2	4386905961	584.2637
2023	2971216717	414356652.1	454165155.6	684913353.7	4524651879	593.0686

年份	垃圾处理成本 $C_{Processing}$	健康成本 $C_{Health}$	运输成本 $C_{Trans}$	投放收集成本 $C_{Collection}$	$C_{\text{年度生活垃圾处理社会成本}}$	$A_{\text{单位生活垃圾社会成本}}$
2024	3175913715	288637079.2	423206482.9	691762487.2	4579519764	588.25
2025	3253767649	311669487	432261523.7	705597737	4703296396	588.7957
2026	3347373697	269438018.6	422835581.4	865250546.2	4904897844	589.1767

表 59: 模式二当期及未来 10 年的分项成本与社会总成本

模式三的分项成本（单位：元），年度垃圾处理社会总成本（单位：元）和单位垃圾处理社会总成本（单位：元）如下表所示：

年份	垃圾处理成本 $C_{Processing}$	健康成本 $C_{Health}$	运输成本 $C_{Trans}$	投放收集成本 $C_{Collection}$	$C_{\text{年度生活垃圾处理社会成本}}$	$A_{\text{单位生活垃圾社会成本}}$
2017	1836494465	371698545	454570080.4	61768783.82	2724531874	440.1269
2018	1899387925	459927527.1	473297557.9	63004159.5	2895617169	453.6384
2019	2187023872	485551706.7	487026288.7	64264242.69	3223866110	490.3045
2020	2528403834	539579126.4	510386463.2	65549527.54	3643918951	525.534
2021	2867015471	482499991.9	519420762.1	66860518.1	3935796743	541.6832
2022	3272702050	483233287.3	530939302.7	68197728.46	4355072369	580.024
2023	3322876132	540899892.2	546422613.5	69561683.03	4479760321	587.1844
2024	3640648666	447537243.7	539054040	70952916.69	4698192866	603.4938
2025	3723149314	478986790.6	548554423	72371975.02	4823062503	603.7889
2026	3971483739	448036038.3	561691843.3	73819414.52	5055031036	607.2107

表 60: 模式三当期及未来 10 年的分项成本与社会总成本

核算过程中的细节数据如下：

年份	垃圾清运量（单位：万吨）	厨余垃圾占比	可回收垃圾占比	厨余垃圾分离比例	可回收垃圾回收比例	单位可回收垃圾回收补贴
2017	619.0333	0.554833	0.2372	0	0	0
2018	638.3095	0.597595	0.2799	0	0	100
2019	657.5232	0.5497	0.2321	0	0.05	100
2020	693.3746	0.5882	0.2706	0	0.05	100
2021	726.5865	0.5903	0.2727	0	0.05	100
2022	750.8435	0.5929	0.2753	0	0.05	100
2023	762.9222	0.5537	0.2361	0	0.05	100
2024	778.4989	0.5694	0.2518	0	0.05	100
2025	798.7994	0.5624	0.2448	0	0.1	100
2026	832.5003	0.5895	0.2719	0	0.1	100

表 61: 模式一部分数据

厨余处理中心	厨余垃圾处理中心总面积（单位：平方米）	厨余垃圾处理土地成本	厨余日处理规模	厨余厂投资费用	年处理厨余垃圾量	日处理厨余垃圾量
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

表 62: 模式一部分数据



单位垃圾厨余处理费	厨余垃圾处理费用	厨余电价补贴	厨余税收减免	厨余除臭费用
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

表 63: 模式一部分数据

垃圾焚烧厂	焚烧厂总面积（平方米）	工业基准地价	焚烧厂土地成本	焚烧厂投资费用	焚烧厂日处理规模
现有 4 个垃圾焚烧厂	480300	1055	32148267	108000000	9000
现有 4 个垃圾焚烧厂	480300	1128.85	34398645	108000000	9000
现有 4 个 + 新建的 1 个	601300	1207.87	46079073	188000000	12800
现有 5 个 + 新建的 2 个	915800	1292.42	75092567	272800000	17425
7 个	915800	1382.89	80349046	272800000	17425
7 个	915800	1479.692	85973480	272800000	17425
7 个	915800	1583.271	91991623	272800000	17425
原有 7 个 + 新建的 2 个	1065800	1694.099	1.15E+08	332800000	22000
9 个	1065800	1812.686	1.23E+08	332800000	22000
9 个	1065800	1939.574	1.31E+08	332800000	22000

表 64: 模式一部分数据

焚烧量比例	年垃圾焚烧量	日垃圾焚烧量	单位垃圾焚烧处理费	焚烧垃圾处理费用	焚烧电价补贴	焚烧税收减免	CBurn
0.5	3095167	8479.908	130	402371645	155996391.6	73664963	772181266
0.6	3829857	10492.76	130	497881410	193024792.8	91150597	924455444.8
0.7	4549249	12463.69	130	591402305.4	229282124.5	1.08E+08	1163035618
0.8	5471946	14991.63	150	820791890	275786075	1.3E+08	1574702845
0.8	5733436	15708.04	150	860015391.7	288965171.6	1.36E+08	1638585385
0.85	6294319	17244.71	180	1132977453	317233686.8	1.5E+08	1958789416
0.9	6785243	18589.71	180	1221343764	341976253.8	1.61E+08	2089600427
0.9	6918278	18954.19	180	1245290110	348681230.8	1.65E+08	2205979543
0.95	7402826	20281.71	180	1332508592	373102405.8	1.76E+08	2337170144
0.95	7693714	21078.67	180	1384868495	387763178.5	1.83E+08	2419693995

表 65: 模式一部分数据

垃圾填埋厂	填埋厂总面积（平方米）	填埋场土地成本	年垃圾填埋量	日垃圾填埋量	单位飞灰垃圾填埋处理费	填埋处理费用	填埋除臭费用	CLandfill
现有 4 个	2020000	135206118.7	3095167	8479.908	15	46427498	573162932.5	754796548.7
现有 4 个	2020000	144670547	2553238	6995.173	15	38298570	472808612.8	655777729.8
现有 4 个	2020000	154797485.3	1949678	5341.583	15	29245169	361041359	545084013.3
现有 4 个	2020000	165633309.3	1367986	3747.908	20	27359730	253323737	446316775.9
现有 4 个	2020000	177227640.9	1433359	3927.011	20	28667180	265429417.1	471324237.7
现有 4 个	2020000	189633575.8	1110762	3043.184	30	33322866	205690945.8	428647387.9
现有 4 个	2020000	202907926.1	753915.9	2065.523	30	22617477	139610147	365135550.2
现有 4 个	2020000	217111480.9	768697.6	2106.021	30	23060928	142347421.4	382519830.2
现有 4 个	2020000	232309284.6	389622.4	1067.459	30	11688672	72150275.17	316148231.6
现有 4 个	2020000	248570934.5	404932.3	1109.404	30	12147969	74985364.87	335704268.6

表 66: 模式一部分数据

CKitchen	CResident	CHealth	填埋场运输费用	焚烧厂运输费用	厨余垃圾场运输费用	CTrans
0	309516650	371698545	216198927.6	238371152.8	0	454570080.4
0	319154750	459927527.1	178344950.9	294952607	0	473297557.9
0	324946321.6	546319252.7	136185978.2	362991361.9	0	499177340.1
0	341996620.8	657125987.1	95554539.85	440103139.5	0	535657679.3
0	358339746.5	688528322.6	100120841.9	461134519.6	0	561255361.4
0	370254069.6	755884790.7	77587295.67	506245797.6	0	583833093.3
0	376957951.7	814839847.6	52661402.81	545730319.8	0	598391722.6
0	384348799.4	830816051.8	53693911.63	540113453	0	593807364.6
0	389622395.3	889005315.7	27215319.13	577942289.1	0	605157608.2
0	404932308.4	923938097.4	28284724.21	600652087.9	0	628936812.1

表 67: 模式一部分数据

CCollection	用地面积（平方米）
61768783.82	2500300
63004159.5	2500300
64264242.69	2621300
65549527.54	2935800
66860518.1	2935800
68197728.46	2935800
69561683.03	2935800
70952916.69	3085800
72371975.02	3085800
73819414.52	3085800

表 68: 模式一部分数据

年份	垃圾清运量（单位：万吨）	厨余垃圾占比	可回收垃圾占比	厨余垃圾分离比例	可回收垃圾回收比例	单位可回收垃圾回收补贴
2017	619.0333	0.554833	0.2372	0	0	0
2018	638.3095	0.597595	0.2799	0	0.05	100
2019	657.5232	0.5497	0.2321	0.1	0.1	100
2020	693.3746	0.5882	0.2706	0.2	0.3	100
2021	726.5865	0.5903	0.2727	0.4	0.4	100
2022	750.8435	0.5929	0.2753	0.5	0.6	100
2023	762.9222	0.5537	0.2361	0.6	0.7	100
2024	778.4989	0.5694	0.2518	0.8	0.8	100
2025	798.7994	0.5624	0.2448	0.8	0.85	100
2026	832.5003	0.5895	0.2719	0.8	0.9	100

表 69: 模式二部分数据

厨余处理中心	厨余垃圾处理中心总面积（单位：平方米）	厨余垃圾处理土地成本	厨余日处理规模	厨余厂投资费用	年处理厨余垃圾量
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
原有 4 个处理中心	69053	5291698	1000	15918657	361440.5
原有 4 个处理中心 + 新增 3 个厨余垃圾处理中心	129053	10581919	2000	32585323	815685.9
原有 7 个处理中心 + 新增 4 个厨余垃圾处理中心	249053	21851028	4000	65918657	1715616
原有 11 个处理中心 + 新增 3 个厨余垃圾处理中心	369053	34645960	6000	99251990	2225876
原有 14 个处理中心 + 新增 2 个厨余垃圾处理中心	429053	43098146	7000	1.16E+08	2534580
原有 16 个处理中心 + 新增 5 个厨余垃圾处理中心	609053	65461584	10000	1.66E+08	3546218
21 个处理中心	609053	70043894	10000	1.66E+08	3593958
21 个处理中心	609053	74946967	10000	1.66E+08	3926071

表 70: 模式二部分数据

日处理厨余垃圾量	单位垃圾厨余处理费	厨余垃圾处理费用	厨余电价补贴	厨余税收减免	厨余除臭费用
0	110	0	0	0	0
0	110	0	0	0	0
990.248	110	39758455.33	10409486.49	4915591	66902637.11
2234.756	130	106039164.3	23491753.33	11093328	150983456.3
4700.318	130	223030085.7	49409742.06	23332378	317560529.7
6098.289	150	333881333.4	64105216.01	30271908	412009565.4
6944.055	150	380187019.9	72995907.83	34470290	469150782.6
9715.666	150	531932728.4	102131083.9	48228567	656404986.8
9846.461	150	539093739.1	103505997.9	48877832	665241674
10756.36	150	588910712.2	113070856.7	53394571	726715818.9

表 71: 模式二部分数据

## A 核算成本具体数据

垃圾焚烧厂	焚烧厂总面积（平方米）	工业基准地价	焚烧厂土地成本	焚烧厂投资费用	焚烧厂日处理规模	焚烧量比例	年垃圾焚烧量
现有 4 个垃圾焚烧厂	480300	1055	32148267	108000000	9000	0.5	3095167
现有 4 个垃圾焚烧厂	480300	1128.85	34398645	108000000	9000	0.6	3776258
现有 4 个 + 新建的 1 个	601300	1207.87	46079073	188000000	12800	0.7	4242826
5 个	601300	1292.42	49304608	188000000	12800	0.8	4444143
5 个	601300	1382.89	52755931	188000000	12800	0.8	3806151
5 个	601300	1479.692	56448846	188000000	12800	0.85	3435969
5 个	601300	1583.271	60400265	188000000	12800	0.9	3450384
5 个	601300	1694.099	64628284	188000000	12800	0.9	2403506
5 个	601300	1812.686	69152264	188000000	12800	0.95	2595299
5 个	601300	1939.574	73992922	188000000	12800	0.95	2243634

表 72: 模式二部分数据

日垃圾焚烧量	单位垃圾焚烧处理费	焚烧垃圾处理费用	焚烧电价补贴	焚烧税收减免	CBurn
8479.908	130	402371645	155996391.6	73664963	772181266
10345.91	130	490913559.7	190323410.8	89874944	913510559.9
11624.18	130	551567413	213838443.2	1.01E+08	1100464194
12175.73	150	666621434.4	223984802	1.06E+08	1233681446
10427.81	150	570922608.2	191829996.4	90586387	1094094923
9413.613	180	618474371.1	173172823.9	81776056	1117872097
9453.108	180	621069176.2	173899369.3	82119147	1125487958
6584.949	180	432631145.5	121136720.7	57203451	863599601.6
7110.409	180	467153865.1	130803082.2	61768122	916877333.3
6146.943	180	403854137.3	113079158.4	53398491	832324709.4

表 73: 模式二部分数据

垃圾填埋厂	填埋厂总面积（平方米）	填埋场土地成本	年垃圾填埋量	日垃圾填埋量	单位飞灰垃圾填埋处理费	填埋处理费用	填埋除臭费用	CLandfill
现有 4 个	2020000	135206118.7	3095167	8479.908	15	46427498	573162932.5	754796548.7
现有 4 个	2020000	144670547	2517505	6897.275	15	37762582	466191656.3	648624784.8
现有 4 个	2020000	154797485.3	1818354	4981.792	15	27275312	336722813.8	518795610.8
现有 4 个	2020000	165633309.3	1111036	3043.933	20	22220714	205741595.4	393595619.1
现有 4 个	2020000	177227640.9	951537.7	2606.953	20	19030754	176205747.7	372464142.2
现有 4 个	2020000	189633575.8	606347.4	1661.226	30	18190423	112283415.7	320107414.2
现有 4 个	2020000	202907926.1	383376	1050.345	30	11501281	70993574.11	285402781.2
现有 4 个	2020000	217111480.9	267056.3	731.661	30	8011688	49453478.72	274576647.5
现有 4 个	2020000	232309284.6	136594.7	374.232	30	4097841	25294606.06	261701731.6
现有 4 个	2020000	248570934.5	118086	323.5233	30	3542580	21867166.42	273980681.1

表 74: 模式二部分数据

CKitchen	CResident	CHealth	填埋场运输费用	焚烧厂运输费用	厨余垃圾场运输费用	CTrans
0	309516650	371698545	216198927.6	238371152.8	0	454570080.4
0	314688179.3	453490841.4	175849013.3	290824745.3	0	466673758.6
143196525	321131043.3	509521004.8	127012943.7	338541471	21686430.18	487240844.9
334774944	318543225	533697120.4	77606400.84	354604827.9	48941152.77	481152381.5
701102420	323665222.3	457080640.2	66465382.74	303698475.3	102936962.6	473100820.7
974165973	313409585.3	412625484.6	42353670.65	274161098.8	133552533.3	450067302.8
1115820803	318417024	414356652.1	26779007.71	275311339.9	152074808	454165155.6
1570077607	310839040.8	288637079.2	18654013.47	191779378	212773091.4	423206482.9
1592681794	316292610.4	311669487	9541207.911	207082820.2	215637495.6	432261523.7
1722957583	314389575.8	269438018.6	8248366.496	179022930	235564284.9	422835581.4

表 75: 模式二部分数据

CCollection	用地面积（平方米）
130031312.2	2500300
492920403.1	2500300
496510286.8	2690353
654857091	2750353
667954232.9	2870353
674633775.2	2990353
684913353.7	3050353
691762487.2	3230353
705597737	3230353
865250546.2	3230353

表 76: 模式二部分数据

年份	垃圾清运量（单位：万吨）	厨余垃圾占比	可回收垃圾占比	厨余垃圾分离比例	可回收垃圾回收比例	单位可回收垃圾回收补贴
2017	619.0333	0.554833	0.2372	0	0	0
2018	638.3095	0.597595	0.2799	0	0	100
2019	657.5232	0.5497	0.2321	0.2	0.05	100
2020	693.3746	0.5882	0.2706	0.3	0.05	100
2021	726.5865	0.5903	0.2727	0.5	0.05	100
2022	750.8435	0.5929	0.2753	0.6	0.05	100
2023	762.9222	0.5537	0.2361	0.6	0.05	100
2024	778.4989	0.5694	0.2518	0.8	0.05	100
2025	798.7994	0.5624	0.2448	0.8	0.1	100
2026	832.5003	0.5895	0.2719	0.85	0.1	100

表 77: 模式三部分数据



厨余处理中心	厨余垃圾处理中心总面积（单位：平方米）	厨余垃圾处理土地成本	厨余日处理规模	厨余厂投资费用	年处理厨余垃圾量
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
原有 4 个处理中心 + 新增 3 个厨余垃圾处理中心	60000	4597945	2000	16666667	722881
原有 7 个处理中心 + 新增 3 个厨余垃圾处理中心	120000	9839603	3000	33333333	1223529
原有 10 个处理中心 + 新增 5 个厨余垃圾处理中心	300000	26320937	6000	83333333	2144520
原有 15 个处理中心 + 新增 2 个厨余垃圾处理中心	360000	33796083	7000	1E+08	2671051
原有 17 个处理中心	429053	43098146	7000	1E+08	2534580
原有 17 个处理中心 + 新增 5 个厨余垃圾处理中心	609053	65461584	10000	1.5E+08	3546218
22 个处理中心	609053	70043894	10000	1.5E+08	3593958
原有 22 个处理中心 + 新增 2 个厨余垃圾处理中心	669053	82330262	11000	1.67E+08	4171451

表 78: 模式三部分数据

日处理厨余垃圾量	单位垃圾厨余处理费	厨余垃圾处理费用	厨余电价补贴	厨余税收减免	厨余除臭费用
0	148.5	0	0	0	
0	148.5	0	0	0	
1980.496	148.5	107347829.4	20818972.98	9831182	133805274.2
3352.134	175.5	214729307.8	35237629.99	16639992	226475184.4
5875.397	175.5	376363269.6	61762177.58	29165473	396950662.1
7317.947	202.5	540887760	76926259.21	36326289	494411478.4
6944.055	202.5	513252476.9	72995907.83	34470290	469150782.6
9715.666	202.5	718109183.3	102131083.9	48228567	656404986.8
9846.461	202.5	727776547.7	103505997.9	48877832	665241674
11428.63	202.5	844718802.8	120137785.3	56731732	772135557.6

表 79: 模式三部分数据

垃圾焚烧厂	焚烧厂总面积（平方米）	工业基准地价	焚烧厂土地成本	焚烧厂投资费用	焚烧厂日处理规模	焚烧量比例
现有 4 个垃圾焚烧厂	480300	1055	32148267	108000000	9000	0.5
现有 4 个垃圾焚烧厂	480300	1128.85	34398645	108000000	9000	0.6
现有 4 个 + 新建的 1 个	601300	1207.87	46079073	188000000	12800	0.7
5 个	601300	1292.42	49304608	188000000	12800	0.8
5 个	601300	1382.89	52755931	188000000	12800	0.8
5 个	601300	1479.692	56448846	188000000	12800	0.85
5 个	601300	1583.271	60400265	188000000	12800	0.9
5 个	601300	1694.099	64628284	188000000	12800	0.9
5 个	601300	1812.686	69152264	188000000	12800	0.95
5 个	601300	1939.574	73992922	188000000	12800	0.95

表 80: 模式三部分数据

年垃圾焚烧量	日垃圾焚烧量	单位垃圾焚烧处理费	焚烧垃圾处理费用	焚烧电价补贴	焚烧税收减免	CBurn
3095167	8479.908	130	402371645	155996391.6	73664963	772181266
3829857	10492.76	130	497881410	193024792.8	91150597	924455444.8
4043232	11077.35	130	525620133.8	203778882.6	96228917	1059707006
4493123	12309.93	150	673968431.7	226453393	1.07E+08	1244662758
4017820	11007.73	150	602672985.1	202498123	95624114	1141551153
4023926	11024.46	180	724306701	202805876.3	95769442	1267330865
4504121	12340.06	180	810741782	227007699	1.07E+08	1393347826
3726682	10210.09	180	670802763.5	187824773.8	88695032	1199950853
3988565	10927.58	180	717941729.5	201023684.3	94927851	1271045528
3730836	10221.47	180	671550394.6	188034110.5	88793886	1210371313

表 81: 模式三部分数据

垃圾填埋厂	填埋厂总面积（平方米）	填埋场土地成本	年垃圾填埋量	日垃圾填埋量	单位飞灰垃圾填埋处理费	填埋处理费用
现有 4 个	2020000	135206118.7	3095167	8479.908	15	46427498
现有 4 个	2020000	144670547	2553238	6995.173	15	38298570
现有 4 个	2020000	154797485.3	1732814	4747.435	15	25992204
现有 4 个	2020000	165633309.3	1123281	3077.481	20	22465614
现有 4 个	2020000	177227640.9	1004455	2751.931	20	20089100
现有 4 个	2020000	189633575.8	710104.6	1945.492	30	21303138
现有 4 个	2020000	202907926.1	500457.9	1371.118	30	15013737
现有 4 个	2020000	217111480.9	414075.8	1134.454	30	12422273
现有 4 个	2020000	232309284.6	209924.5	575.1356	30	6297734
现有 4 个	2020000	248570934.5	196359.8	537.972	30	5890793

表 82: 模式三部分数据

填埋除臭费用	CLandfill	CKitchen	CResident	CHealth
573162932.5	754796548.7	0	309516650	371698545
472808612.8	655777729.8	0	319154750	459927527.1
320882427.6	501672117.3	293067870	324946321.6	485551706.7
208009123.6	396108047.3	536255050	341996620.8	539579126.4
186004972.3	383321712.7	973895852	358339746.5	482499991.9
131497171.5	342433885.5	1282347870	370254069.6	483233287.3
92674792.1	310596454.9	1232967603	376957951.7	540899892.2
76678552.93	306212307.2	1740335405	384348799.4	447537243.7
38873815.64	277480834.7	1765445946	389622395.3	478986790.6
36361901.19	290823628.6	2042720806	404932308.4	448036038.3

表 83: 模式三部分数据

填埋场运输费用	焚烧厂运输费用	厨余垃圾场运输费用	CTrans	CCollection	用地面积（平方米）
216198927.6	238371152.8	0	454570080.4	61768783.82	2500300
178344950.9	294952607	0	473297557.9	63004159.5	2500300
121037898.3	322615530.1	43372860.36	487026288.7	64264242.69	2681300
78461719.9	358513014.1	73411729.15	510386463.2	65549527.54	2741300
70161682.24	320587876.6	128671203.3	519420762.1	66860518.1	2921300
49601161.98	321075100.7	160263040	530939302.7	68197728.46	2981300
34957233.86	359390571.7	152074808	546422613.5	69561683.03	3050353
28923400.27	297357548.3	212773091.4	539054040	70952916.69	3230353
14663330.05	318253597.3	215637495.6	548554423	72371975.02	3230353
13715827.73	297688962.8	250287052.7	561691843.3	73819414.52	3290353

表 84: 模式三部分数据

年份	垃圾清运量（单位：万吨）	厨余垃圾占比	可回收垃圾占比	厨余垃圾分离比例	可回收垃圾回收比例	单位可回收垃圾回收补贴
2017	619.0333	0.554833	0.2372	0	0	0
2018	638.3095	0.597595	0.2799	0	0	100
2019	657.5232	0.5497	0.2321	0	0.05	100
2020	693.3746	0.5882	0.2706	0	0.05	100
2021	726.5865	0.5903	0.2727	0	0.05	100
2022	750.8435	0.5929	0.2753	0	0.05	100
2023	762.9222	0.5537	0.2361	0	0.05	100
2024	778.4989	0.5694	0.2518	0	0.05	100
2025	798.7994	0.5624	0.2448	0	0.1	100
2026	832.5003	0.5895	0.2719	0	0.1	100

表 85: 现状模式部分数据

厨余处理中心	厨余垃圾处理中心总面积（单位：平方米）	厨余垃圾处理土地成本	厨余日处理规模	厨余厂投资费用	年处理厨余垃圾量
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

表 86: 现状模式部分数据

日处理厨余垃圾量	单位垃圾厨余处理费	厨余垃圾处理费用	厨余电价补贴	厨余税收减免	厨余除臭费用
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

表 87: 现状模式部分数据

垃圾焚烧厂	焚烧厂总面积（平方米）	工业基准地价	焚烧厂土地成本	焚烧厂投资费用	焚烧厂日处理规模	焚烧量比例
现有 4 个垃圾焚烧厂	480300	1055	32148267	108000000	9000	0.5
现有 4 个垃圾焚烧厂	480300	1128.85	34398645	108000000	9000	0.5
现有 4 个 + 新建的 1 个	601300	1207.87	46079073	188000000	12800	0.6
现有 5 个 + 新建的 2 个	915800	1292.42	75092567	272800000	17425	0.6
7 个	915800	1382.89	80349046	272800000	17425	0.6
7 个	915800	1479.692	85973480	272800000	17425	0.6
7 个	915800	1583.271	91991623	272800000	17425	0.7
7 个	915800	1694.099	98431037	272800000	17425	0.7
7 个	915800	1812.686	1.05E+08	272800000	17425	0.7
7 个	915800	1939.574	1.13E+08	272800000	17425	0.7

表 88: 现状模式部分数据

年垃圾焚烧量	日垃圾焚烧量	单位垃圾焚烧处理费	焚烧垃圾处理费用	焚烧电价补贴	焚烧税收减免	CBurn
3095167	8479.908	130	402371645	155996391.6	73664963	772181266
3191548	8743.966	130	414901175	160853994	75958831	794112644.9
3899356	10683.17	130	506916261.7	196527535.3	92804669	1030327540
4103959	11243.72	150	615593917.5	206839556.3	97674235	1268000275
4300077	11781.03	150	645011543.8	216723878.7	1.02E+08	1317226300
4443049	12172.74	180	799748790.4	223929661.3	1.06E+08	1488196493
5277411	14458.66	180	949934038.3	265981530.7	1.26E+08	1706309582
5380883	14742.15	180	968558974.5	271196512.9	1.28E+08	1739051544
5454714	14944.42	180	981848436.3	274917562.2	1.3E+08	1764709390
5669052	15531.65	180	1020429417	285720236.8	1.35E+08	1826566793

表 89: 现状模式部分数据

垃圾填埋厂	填埋厂总面积（平方米）	填埋场土地成本	年垃圾填埋量	日垃圾填埋量	单位飞灰垃圾填埋处理费	填埋处理费用
现有 4 个	2020000	135206118.7	3095167	8479.908	15	46427498
现有 4 个	2020000	144670547	3191548	8743.966	15	47873213
现有 4 个	2020000	154797485.3	2599571	7122.111	30	77987117
现有 4 个 + 新建 2 个	2520000	206631653.1	2735973	7495.816	30	82079189
6 个	2520000	221095868.9	2866718	7854.022	30	86001539
6 个	2520000	236572579.7	2962033	8115.158	50	1.48E+08
原有 6 个 + 新建 2 个	3020000	303357394.4	2261748	6196.569	50	1.13E+08
8 个	3020000	324592412	2306093	6318.062	50	1.15E+08
8 个	3020000	347313880.9	2337734	6404.752	50	1.17E+08
8 个	3020000	371625852.5	2429594	6656.422	50	1.21E+08

表 90: 现状模式部分数据

填埋除臭费用	CLandfill	CKitchen	CResident	CHealth
573162932.5	754796548.7	0	309516650	371698545
591010766.1	783554525.5	0	319154750	383272939.3
481388478.7	714173081.2	0	324946321.6	468273645.2
506647474	795358316.1	0	341996620.8	492844490.3
530858834.1	837956242.1	0	358339746.5	516396241.9
548509188.9	933183396.4	0	370254069.6	533565734.6
418830441	835275220.9	0	376957951.7	633764325.9
427042264.1	866939315.9	0	384348799.4	646190262.5
432901651	897102250.5	0	389622395.3	655056548.4
449912189.2	943017734.3	0	404932308.4	680796492.9

表 91: 现状模式部分数据

填埋场运输费用	焚烧厂运输费用	厨余垃圾场运输费用	CTrans	CCollection	用地面积
216198927.6	238371152.8	0	454570080.4	61768783.82	2500300
222931188.6	245793839.2	0	468725027.8	63004159.5	2500300
181581304.3	311135453.1	0	492716757.4	64264242.69	2621300
187498963.4	330077354.6	0	517576318	65549527.54	3435800
196459049.4	345850889.7	0	542309939	66860518.1	3435800
202991053.2	357349974.8	0	560341027.9	68197728.46	3435800
197244710	424456915.4	0	621701625.4	69561683.03	3935800
150612041.8	432779054.2	0	583391096	70952916.69	3935800
153565025.4	438717154.9	0	592282180.3	72371975.02	3935800
155672069.6	455956208.9	0	611628278.4	73819414.52	3935800

表 92: 现状模式部分数据

## B 问卷调查数据

[illegible]

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	0	0	0	0	0	5	2	4
0	0	0	0	0	1	5	0	3
0	1	0	0	0	0	5	0	2
1	0	0	0	0	1	6	0	4
0	0	0	0	0	1	6	2	3
0	0	0	0	0	0	3	2	4
0	0	0	0	0	1	4	0	4
0	0	0	0	0	1	3	2	2
0	0	0	0	1	2	5	0	1
0	0	0	0	0	2	6	2	1
0	0	0	0	0	1	3	3	3
0	0	1	0	0	1	5	3	3
0	0	0	0	0	0	4	2	2
0	0	0	0	0	1	6	1	2
0	0	0	0	0	2	6	3	4
0	0	0	0	0	1	5	1	1
0	0	0	0	0	1	6	1	1
1	0	0	0	1	0	5	2	1
0	0	0	1	0	2	3	2	3
0	0	0	0	0	2	5	1	3
0	0	0	0	0	1	4	1	2
0	0	0	0	0	1	3	2	2
0	0	0	0	0	2	5	0	2
0	0	0	0	0	1	6	2	3
0	0	0	0	0	0	3	0	3
0	0	0	0	0	2	5	1	2
0	0	0	0	0	2	4	0	3
0	0	0	0	0	0	5	0	2
0	1	0	0	0	2	5	2	2
0	0	0	0	0	0	4	0	1
0	0	0	0	0	0	4	0	2
0	0	0	0	0	0	4	0	2
0	0	0	0	0	1	3	0	3
0	0	0	0	0	0	6	2	2
0	0	0	0	0	1	6	1	2
0	0	0	0	0	1	4	2	3
0	0	1	1	0	0	5	1	2
0	0	0	0	1	0	4	1	1
0	0	0	0	0	0	4	0	1
0	0	0	0	0	1	6	0	4
0	0	0	0	0	2	5	0	3
0	0	0	0	0	0	3	3	3
0	0	0	0	0	1	4	0	3
0	0	0	0	0	1	6	1	4
0	0	0	0	0	2	5	3	3
0	0	0	0	0	1	3	1	3
0	0	0	0	0	2	3	0	2
0	1	0	0	0	1	4	0	1
0	0	0	0	0	0	4	0	3
0	0	0	0	0	0	4	2	4
0	0	0	1	0	2	4	1	4
0	0	0	0	0	0	4	1	2
0	0	0	0	0	0	4	0	4
1	0	0	0	0	0	4	1	3
0	0	0	0	0	0	5	0	2
0	0	0	0	0	0	6	1	2
0	0	0	0	0	0	4	1	3
0	0	1	0	0	0	4	1	2
0	0	0	0	0	0	4	0	2
0	0	0	0	0	0	6	1	4
0	0	0	0	0	0	4	3	3
0	0	0	0	0	0	6	3	3
0	0	0	0	0	0	5	0	1
0	0	0	0	0	0	6	3	3
0	0	0	0	0	0	3	3	3
0	1	0	0	0	0	5	3	2
0	0	0	0	0	0	5	0	4
0	0	0	0	0	0	3	1	1
0	0	0	0	0	0	6	2	4
0	0	0	0	1	0	3	3	1
0	0	0	0	0	0	6	1	2
0	0	0	0	0	0	5	2	4
0	0	0	0	0	0	4	2	1
0	0	0	0	0	0	3	2	



2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	0	0	0	0	0	6	0	1
0	0	0	0	0	0	4	3	4
0	0	0	0	0	0	4	1	1
0	0	0	0	0	0	4	3	4
0	0	0	0	0	0	4	1	1
0	0	0	0	0	0	3	0	4
0	0	0	1	0	0	4	2	3
0	0	0	0	0	0	6	0	2
0	0	0	0	0	0	4	1	2
0	0	0	0	0	0	3	1	1
0	0	0	0	0	0	4	3	4
0	1	0	0	0	0	4	3	4
1	0	0	0	0	0	3	0	2
0	0	0	0	0	0	3	2	1
0	0	0	0	0	0	5	3	1
0	0	0	0	0	0	5	0	2
0	0	0	0	0	0	6	3	1
0	0	0	0	1	0	3	0	4

表 93: 样本受督导影响原始数据

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
60	80	80	90	95	85	80	85	95
80	70	70	80	80	75	85	90	95
65	80	85	85	90	90	90	90	90
85	80	75	90	80	80	85	90	75
70	90	70	90	85	85	85	85	80
85	75	70	75	80	75	75	80	95
65	90	75	85	80	85	75	75	85
85	70	80	85	90	75	95	75	80
85	85	85	85	95	80	80	80	80
65	90	70	85	75	90	75	90	90
65	85	85	75	85	75	95	85	95
75	85	90	70	80	90	80	75	75
60	70	70	75	75	90	75	85	85
85	80	85	70	95	75	85	80	80
85	80	75	80	90	80	85	85	85
65	90	70	75	85	90	90	80	95
75	80	80	90	90	80	95	85	95
75	70	90	75	90	75	95	80	80
65	90	70	75	85	85	95	90	90
80	75	75	80	75	75	85	80	90
75	80	80	75	75	85	95	90	75
65	90	85	70	75	80	95	75	95
60	90	90	85	95	75	85	80	75
60	70	80	75	95	80	95	85	90
80	85	90	90	75	85	80	75	75
80	85	90	70	90	80	85	75	75
80	85	90	90	95	85	75	85	95
75	75	85	90	95	80	75	85	90
85	85	70	80	95	85	95	75	80
80	70	90	90	85	75	90	75	90
80	90	80	90	95	80	95	90	95
65	90	90	75	80	80	85	80	80
80	85	75	85	90	80	85	90	75
80	90	70	70	80	90	85	85	95
65	70	85	70	75	80	80	75	85
80	75	70	80	80	90	75	85	95
65	80	85	85	85	75	90	80	90
85	90	75	75	95	75	90	80	75
70	70	90	80	75	80	95	75	90
65	80	75	70	85	75	85	75	80
70	85	70	90	80	85	90	90	75
85	85	80	90	95	75	80	85	90
85	70	85	85	95	85	85	90	85
65	75	70	80	90	80	85	90	90
80	80	85	85	75	80	90	80	85
80	85	75	75	75	90	90	90	95
85	80	85	85	95	75	80	75	75
75	80	70	75	75	85	85	80	95
85	80	90	85	80	90	80	75	80
75	90	75	85	75	75	80	85	75
75	70	85	80	85	90	95	85	85

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
60	70	90	85	95	75	80	90	95
70	80	85	70	85	75	75	85	75
80	75	75	85	85	85	85	85	80
65	75	85	85	85	85	95	85	80
65	70	90	70	75	90	75	90	90
75	80	75	75	75	90	75	80	95
80	85	70	90	90	85	95	85	95
80	80	90	75	90	75	75	85	95
80	70	85	90	75	80	85	90	90
85	75	75	85	95	90	85	85	75
65	70	85	90	75	75	75	90	95
75	85	75	80	75	85	85	75	95
85	80	80	90	95	75	80	85	85
75	80	90	80	80	75	80	90	90
60	85	75	85	95	75	95	75	75
65	80	80	70	85	90	95	85	95
70	90	80	70	85	75	75	85	95
70	75	90	75	85	90	90	90	95
75	85	75	90	85	90	75	90	85
60	80	90	70	75	90	90	75	95
60	75	70	80	80	90	95	80	95
60	70	90	80	85	80	95	90	90
65	90	85	80	75	90	90	75	95
75	70	90	85	80	80	75	90	85
70	80	75	85	95	90	85	75	95
60	80	85	90	75	85	90	75	85
70	70	80	85	80	80	80	80	85
75	80	70	80	85	75	80	75	75
85	70	75	70	75	90	85	75	75
70	75	90	90	80	90	80	80	75
60	90	90	90	95	80	90	80	75
60	85	70	90	90	80	80	90	90
75	90	85	90	85	80	85	80	95
80	70	85	90	85	90	90	80	85
75	75	85	90	80	90	80	85	95
80	90	85	90	75	80	75	80	85
85	80	85	90	90	85	75	90	75
70	80	85	90	80	90	80	85	90
85	75	85	90	95	75	80	85	95
80	70	85	90	90	85	90	90	75
65	85	85	90	90	75	90	75	75
60	85	85	90	90	85	85	80	95
60	80	85	90	90	85	90	75	85
60	75	85	90	80	85	80	85	80
85	90	85	90	95	75	95	80	95
75	80	85	90	90	85	85	85	80
85	80	85	90	95	80	75	80	90
80	90	85	90	90	90	80	75	80
60	80	85	90	75	85	90	90	80

表 94: 居民对环境满意度评分

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	1	2	1	3	5	9	6	5
2	2	1	4	3	3	8	4	5
2	1	4	2	4	6	7	4	7
1	0	1	2	4	6	9	4	7
2	0	2	1	4	6	6	6	8
3	1	2	4	2	6	8	6	8
1	0	4	1	4	2	9	7	8
3	1	3	3	4	5	7	6	8
2	0	4	3	3	2	6	6	4
0	2	4	4	4	3	9	6	5
0	1	1	4	2	5	6	6	6
2	1	2	2	3	6	7	7	6
1	0	2	3	4	2	6	7	7
3	0	2	2	4	2	5	4	7
1	3	4	2	4	3	6	4	5
0	0	2	2	4	6	8	6	5
3	2	3	2	4	2	6	5	5
0	0	2	2	4	2	5	6	8
0	0	2	1	4	4	6	6	7
2	0	2	3	3	4	9	5	7
2	3	1	1	4	6	9	4	4
0	1	2	1	4	5	5	4	4
0	1	2	1	4	3	6	6	8
2	0	1	3	2	2	7	7	6

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	2	4	4	3	2	9	4	5
1	0	2	3	2	5	9	5	4
3	3	2	2	4	6	9	4	6
2	2	1	1	4	2	7	6	7
3	2	4	1	3	2	7	4	8
0	1	4	3	3	6	9	6	4
3	2	1	1	2	2	5	7	6
3	1	2	2	4	6	8	6	6
0	1	4	1	2	2	9	7	6
2	0	1	2	2	3	5	4	6
1	0	3	1	4	3	9	6	6
3	2	1	3	4	5	8	7	5
1	2	3	4	4	6	7	6	4
0	3	3	1	2	3	6	4	5
1	3	2	2	2	5	7	7	6
3	2	2	1	2	6	7	4	7
0	0	4	1	3	2	9	4	6
0	1	1	1	4	2	7	6	8
0	0	2	3	3	6	6	6	5
0	0	4	2	4	2	5	5	5
0	1	2	1	4	3	6	6	6
0	1	1	2	2	3	7	7	6
3	0	1	1	2	4	9	6	7
0	1	2	3	3	6	6	5	5
0	3	1	4	3	6	8	4	5
3	0	1	3	4	2	6	6	6
2	1	4	3	3	3	9	7	4
0	0	1	1	3	6	9	4	8
2	0	1	4	3	6	7	5	5
3	0	3	2	3	4	7	5	5
3	0	2	1	4	3	6	5	7
1	2	2	3	4	6	8	5	4
0	2	3	2	3	4	7	5	6
0	2	1	1	2	3	6	4	5
0	1	2	1	2	6	7	6	5
0	0	3	3	2	2	7	7	7
0	2	4	3	4	5	9	6	4
0	0	3	1	2	3	7	7	7
3	3	1	1	4	2	7	4	7
0	0	1	1	2	4	8	7	6
2	2	4	2	2	4	5	7	7
0	2	3	1	4	2	5	6	5
3	0	1	2	3	3	7	6	7
3	0	1	2	3	2	6	7	6
1	1	1	1	4	5	6	6	5
3	3	2	1	3	3	8	6	8
2	2	1	2	2	5	5	6	7
3	0	1	1	3	2	5	5	7
2	2	3	3	4	4	6	5	4
1	2	1	3	3	6	7	6	6
1	0	2	1	2	6	9	7	5
1	3	4	1	3	6	7	6	8
3	0	2	4	3	4	7	5	5
2	2	4	2	3	2	9	6	5
0	0	1	1	3	6	8	4	7
0	0	2	3	3	4	9	7	6
3	0	1	1	2	5	8	5	8
3	3	2	3	4	4	7	4	7
0	1	3	2	4	4	7	5	7
3	3	2	1	4	5	7	6	7
0	0	4	1	2	5	9	5	6
1	2	3	1	3	6	6	6	8
2	2	4	2	2	3	8	5	8
1	2	4	2	2	5	7	4	5
3	0	1	1	4	5	9	5	6
3	2	3	1	2	5	5	4	5
3	2	1	2	3	3	5	5	8
3	0	1	2	2	5	8	6	6
1	3	4	2	2	6	9	4	8
0	3	4	3	2	3	7	5	5
1	3	4	4	4	6	8	4	4
0	0	4	4	3	5	7	7	6
3	0	1	1	2	4	6	7	6
2	3	3	1	3	3	7	6	4

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	2	4	1	3	4	6	5	6
2	3	2	1	2	6	8	7	7
1	3	2	2	2	6	5	4	6

表 95: 样本所受宣传影响原始数据

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	0	1	1	3	2	2	6	6
0	0	2	4	3	4	4	6	7
0	0	1	2	4	2	2	4	6
0	0	0	2	4	0	5	5	3
0	0	0	1	4	0	0	3	5
0	0	1	4	2	2	2	4	7
0	0	0	1	4	0	0	3	3
0	0	1	3	4	2	6	3	5
0	0	0	3	3	0	0	3	3
0	0	2	4	4	4	4	5	6
0	0	1	4	2	2	2	4	4
0	0	1	2	3	2	2	6	7
0	0	0	3	4	0	0	6	6
0	0	0	2	4	0	0	3	5
0	0	3	2	4	6	3	4	6
0	0	0	2	4	0	0	3	7
0	0	2	2	4	4	4	3	3
0	0	0	2	4	0	4	4	5
0	0	0	1	4	0	0	4	5
0	0	0	3	3	0	0	4	5
0	0	3	1	4	6	6	5	4
0	0	1	1	4	2	5	3	7
0	0	1	1	4	2	2	5	3
0	0	0	3	2	0	0	6	6
0	0	2	4	3	4	4	5	7
0	0	0	3	2	0	6	3	5
0	0	3	2	4	6	6	4	4
0	0	2	1	4	4	4	5	4
0	0	2	1	3	4	4	3	5
0	0	1	3	3	2	7	5	3
0	0	2	1	2	4	4	3	5
0	0	1	2	4	2	4	4	7
0	0	1	1	2	2	2	4	7
0	0	0	2	2	0	0	6	5
0	0	0	1	4	0	0	5	4
0	0	2	3	4	4	4	6	7
0	0	2	4	4	4	4	6	4
0	0	3	1	2	6	6	4	6
0	0	3	2	2	6	6	4	5
0	0	2	1	2	4	4	5	3
0	0	0	1	3	0	0	4	5
0	0	1	1	4	2	2	5	3
0	0	0	3	3	0	0	4	3
0	0	0	2	4	0	0	4	6
0	0	1	1	4	2	2	5	3
0	0	1	2	2	2	2	5	4
0	0	0	1	2	0	0	3	7
0	0	1	3	3	2	2	3	3
0	0	3	4	3	6	6	5	6
0	0	0	3	4	0	0	5	3
0	0	1	3	3	2	2	4	4
0	0	0	1	3	0	0	4	6
0	0	0	4	3	0	0	5	5
0	0	0	2	3	0	0	4	4
0	0	0	1	4	0	0	6	5
0	0	2	3	4	4	4	4	7
0	0	2	2	3	4	4	4	3
0	0	2	1	2	4	4	5	6
0	0	1	1	2	2	2	4	7
0	0	0	3	2	0	0	3	3
0	0	2	3	4	4	4	3	3
0	0	0	1	2	0	0	3	7
0	0	3	1	4	6	6	3	7
0	0	0	1	2	0	0	6	6
0	0	2	2	2	4	4	4	5

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	0	2	1	4	4	4	6	3
0	0	0	2	3	0	0	5	3
0	0	0	2	3	0	0	6	7
0	0	1	1	4	2	2	5	6
0	0	3	1	3	6	6	3	3
0	0	2	2	2	4	4	4	6
0	0	0	1	3	0	0	4	6
0	0	2	3	4	4	4	4	6
0	0	2	3	3	4	4	5	6
0	0	0	1	2	0	0	5	7
0	0	3	1	3	6	6	5	4
0	0	0	4	3	0	0	4	6
0	0	2	2	3	4	4	5	4
0	0	0	1	3	0	0	3	6
0	0	0	3	3	0	0	3	4
0	0	0	1	2	0	0	5	4
0	0	3	3	4	6	6	5	5
0	0	1	2	4	2	2	6	4
0	0	3	1	4	6	6	3	3
0	0	0	1	2	0	0	6	6
0	0	2	1	3	4	4	4	3
0	0	2	2	2	4	4	4	3
0	0	2	2	2	4	4	6	3
0	0	0	1	4	0	0	5	6
0	0	2	1	2	4	4	5	4
0	0	2	2	3	4	4	6	7
0	0	0	2	2	0	0	3	7
0	0	3	2	2	6	6	4	3
0	0	3	3	2	6	6	4	6
0	0	3	4	4	6	6	6	6
0	0	0	4	3	0	0	6	5
0	0	0	1	2	0	0	6	6
0	0	3	1	3	6	6	5	3
0	0	2	1	3	4	4	5	4
0	0	3	1	2	6	6	6	5
0	0	3	2	2	6	6	5	5

表 96: 样本所受激励影响原始数据

## C 代码

### 灰度预测代码：

```
clear
syms a b;
c = [a b]';
A = [202 219 221 325 347 333 360 407 441 476 479 482 490 522 541 573 572];
B = cumsum(A);
n = length(A);
for i = 1:(n-1)
    C(i) = (B(i)+B(i+1))/2
end

D = A;
D(1) = [];
D = D'
E = [-C;ones(1,n-1)];
c = inv(E'*E')*E'*D;
c = c'
a = c(1);b = c(2);
F = [];F(1) = A(1);
for i = 2:(n+10)
    F(i) = (A(1)-b/a)/exp(a*(i-1))+b/a
end
G = [];G(1) = A(1);
for i = 2:(n+10)
    G(i) = F(i)-F(i-1);
end
t1 = 2000:2016;
t2 = 2000:2026;
G
plot(t1,A,'o',t2,G)
```

### 数据代码：

```
A = [202 219 221 325 347 333 360 407 441 476 479 482 490 522 541 573 572];
x = [2000:2016];
```

### 预测清运量模型代码：

```
function [fitresult, gof] = createFit(x, A)

[xData, yData] = prepareCurveData( x, A );
ft = fittype( { '(sin(x-pi))', '((x-10)^2)', '1' }, 'independent', 'x', 'dependent', 'y', 'coefficients', {'a', 'b', 'c'} );
[fitresult, gof] = fit( xData, yData, ft );
figure( 'Name', 'untitled_fit_1' );
h = plot( fitresult, xData, yData );
legend( h, 'A_vs_x', 'untitled_fit_1', 'Location', 'NorthEast' );
xlabel x
ylabel A
grid on
```

### 画图代码：

```
m3 = [2724531874, 2895617169, 3223866110, 3643918951, 3935796743, 4355072369, 4479760321, 4698192866, 4823062503, 5055031036, 5206030075, 5320745076, 5420567078, 5490567078, 5560527671];
m2 = [2792794402, 3298841668, 3592120623, 4006589977, 4168718456, 4386905961, 4524651879, 4579519764, 4703296396, 4904897844, 5084649490, 5254864406, 5397884379, 5466824672, 5506844624];
m1 = [2724531874, 2895617169, 3150457345, 3630730794, 3794800578, 4175941847, 4323493479, 4478225807, 4629030279, 4809660579, 5006642557, 5188369198, 5358369198, 5506279491, 5616279495];
x = [2017:2031];
figure()
plot(x,m1,'k-','LineWidth',3);hold on;
plot(x,m2,'r-','LineWidth',3);hold on;
plot(x,m3,'g-','LineWidth',3);hold on;
```

图 20: 画图代码

### 通路分析代码：

```
%data is after scale

data = [-4.882921691    -0.653962726    48.82921691 -2.817070206    63425    2.034550705 1.979562848 -2.123009431    5.859506029 2.325200805 18.31095634
-2.348950797    -0.314591625    23.48950797 -1.355163921    63823    0.978729499 0.95227735 -1.021282955    2.818740956 1.118547999 8.808565489
-2.131753292    -0.285502673    21.31753292 -1.229857668    63987    0.888230538 0.864224307 -0.926849257    2.55810395 1.015120615 7.994074844
-1.914555787    -0.256413721    19.14555787 -1.104551415    64305    0.797731578 0.776171265 -0.832415559    2.297466944 0.911693232 7.1795842
-1.335362439    -0.178843184    13.35362439 -0.770401407    64782    0.556401016 0.541363151 -0.580592365    1.602434927 0.635886876 5.007609148
0.981410949 0.131438966 -9.814109494    0.566198625 65012    -0.408921229    -0.397869304    0.426700413 -1.177693139    -0.467338547    -3.68029106
2.356995149 0.315668993 -23.56995149    1.359804894 65367    -0.982081312    -0.955538574    1.0247805    -2.828394179    -1.122378642    -8.838731809
4.673768538 0.625951143 -46.73768538    2.696404926 65535    -1.947403557    -1.894771029    2.032073277 -5.608522245    -2.225604066    -17.52663202
4.601369369 0.616254826 -46.01369369    2.654636175 65935    -1.917237237    -1.865420015    2.000595378 -5.521643243    -2.191128271    -17.25513514
]/10;

y = [441:476:479;482:490:522;541:573:572];
y = (y-mean(y))./std(y)

B = regress(y, data)
```

图 21: 通路分析代码