**全**

**第十二届长安大学研究生**

**数学建模竞赛**

|  |  |
| --- | --- |
| **学 校 长安大学** | |
| **队员姓名** | **1.孙健 – 汽车学院** |
| **2.山岩 – 汽车学院** |
| **3.刘隼 – 地测学院** |

题 目 **深圳城市垃圾处理社会成本分析**

摘 要：

本文研究的是建立垃圾处理社会总成本分析模型及随时间的各分项变化趋势，以《北京市城市生活垃圾焚烧社会成本评估报告》为参考，并根据深圳市现有垃圾处理方式、深圳市垃圾基础数据调查（2010-2015）及相关政策要求建立分析模型和分析其变化趋势，并基于模型，通过远期成本效益分析设计深圳市生活垃圾分类制度的优选模式。

问题一，建立深圳市城市垃圾处理的社会总成本分析模型，采用**生命周期法**的基本思想，采用结构化、模块化自顶向下的设计思路。首先，在明确**社会成本核算边界**原则下，并确定各项生活垃圾处理过程的社会总成本核算边界。基于以上信息采用，分别建立两种社会总成本分析模型。一、建立各分项成本核算子模型，汇总求和的社会总成本分析模型；二、基于**因子分析**提取社会总成本相关项中的主因子，并与总社会成本做**皮尔逊相关性分析**，验证其相关性，后建立**回归分析模型**。

问题二，本问要求在上问模型基础上完善，深圳市垃圾处理诸模式直接成本估算法，并预测当下及未来的总成本，并作分析。在明确直接成本核算边界后，即可从社会总成本模型中抽出直接成本估算模型。对于预测未来总成本，首先对影响垃圾清运量的各个因素进行未来十年的预测，所用到的方法为时间序列算法。然后对影响垃圾清运量的各个自变量进行了**因子分析**，把这些具有错综复杂关系的变量归结为几个综合因子来进行分析预测。进行因子分析之后，将得到的几个代表因子分别通过**RBF神经网络算法**和**遗传算法+BP神经网络算法**这两种方法进行预测。然后对这两种方法得到的预测结果跟历年的实际值进行比较，通过**误差对比分析**来选出最优的预测方法。最后，再根据这种预测方法计算出未来十年年垃圾总清运量的值。将所得到的预测量带入社会总成本分析模型，并求出未来十年各模式的总成本。利用**三次指数时间序列算法**对未来十年深圳市垃圾的含水率和湿基热值进行预测，并通过成本估算模型分析各模式下各分项成本比例的变化趋势。

问题三，采用远期**成本效益分析**的发方法中的成本效益比（BCR=B/C）进行比较，取问题二中近十年的（2016-2026）各模式城市垃圾处理社会总成本预测值均值作为远期成本。由于效益为模糊的概念，故采用**二级综合模糊评价**的方法，根据**最大隶属度原则**得出其估计值，并做归一化处理后，得出各模式成本效益比率，最后根据其成本效益比率大小选择最优垃圾处理模式；通过对深圳市生活垃圾基础数据分析、评价及预测，采用**博弈论**的方法，基于**完全信息静态模型**，剖析居民对垃圾分类必要性与倾向性的矛盾，为优化垃圾分类实施方案，找到解决垃圾处理问题办法，并提出改进措施及建议。

**关键词：生命周期法、因子分析、皮尔逊相关性分析、回归分析模型、三次指数平滑的时间序列、RBF神经网络算法**、**遗传算法+BP神经网络算法、误差对比分析、二级综合模糊评价、博弈论、完全信息静态模型**

目录

[一、问题重述 - 1 -](#_Toc483950640)

[1.1. 研究背景 - 1 -](#_Toc483950641)

[1.2. 研究问题 - 1 -](#_Toc483950642)

[二、符号说明和基本假设 - 1 -](#_Toc483950643)

[2.1. 符号说明 - 1 -](#_Toc483950645)

[2.2. 基本假设 - 2 -](#_Toc483950646)

[三、问题分析 - 2 -](#_Toc483950647)

[四、问题一 - 3 -](#_Toc483950648)

[4.1. 解题思路概述 - 3 -](#_Toc483950651)

[4.2. 确定生活垃圾处理社会总成本的核算边界并建立子模型 - 4 -](#_Toc483950652)

[4.2.1垃圾收集和转运成本核算 - 4 -](#_Toc483950653)

[4.2.2垃圾转运 - 6 -](#_Toc483950654)

[4.2.3垃圾处理 - 7 -](#_Toc483950655)

[4.3. 建立生活垃圾处理社会总成本核算模型 - 14 -](#_Toc483950656)

[4.3.1根据上述子模型构建深圳市城市垃圾社会总成本（M）核算模型 - 14 -](#_Toc483950657)

[4.3.1基于主成分分析建立回归模型 - 14 -](#_Toc483950658)

[4.3.2结果对比及评价 - 16 -](#_Toc483950659)

[五、问题二 - 16 -](#_Toc483950660)

[5.1. 完善深圳市生活垃圾处理诸模式直接成本估算 - 16 -](#_Toc483950662)

[5.1.1解题思路 - 16 -](#_Toc483950663)

[5.1.2完善深圳市生活垃圾处理诸模式的直接成本估算方法 - 17 -](#_Toc483950664)

[5.2. 估算各模式当期社会总成本和未来十年的社会总成本 - 21 -](#_Toc483950665)

[5.2.1当期社会总成本的计算 - 21 -](#_Toc483950666)

[5.2.2未来十年深圳市垃圾请运量的预测 - 24 -](#_Toc483950667)

[5.2.3未来十年深圳市垃圾处理社会总成本的预测 - 37 -](#_Toc483950668)

[5.3. 未来十年内各模式下垃圾处理各分项成本比例的变化趋势 - 38 -](#_Toc483950669)

[5.3.1未来十年内垃圾的含水率和湿基热值的预测 - 38 -](#_Toc483950670)

[5.3.2各模式下各分项成本比例的变化趋势 - 39 -](#_Toc483950671)

[六、问题三 - 41 -](#_Toc483950672)

[6.1. 远期成本效益分析设计深圳市生活垃圾分类制度建设的优选模式 - 41 -](#_Toc483950674)

[6.1.1解题思路概述 - 41 -](#_Toc483950675)

[6.1.2数据处理 - 42 -](#_Toc483950676)

[附录 - 49 -](#_Toc483950677)

# 一、问题重述

## 研究背景

随着市民生活水平的提高和常住人口规模的增长，深圳市生活垃圾产生量近年来持续快速攀升，对生态环境造成了沉重压力。采用垃圾填埋依然是目前最主要的垃圾处理方式，在产生量快速增长的背景下两座仅有的卫生填埋场被迫超负荷运行[1]。受土地资源的限制和市民维权意识的提高，新建垃圾填埋场已几无可能，即使在满足技术规范的前提下仍然难以实施。现有填埋库容快速消耗，垃圾围城（抑或垃圾淹城）将成为现实困境[2]。

自1998年深圳市被列入全国分类收集八大试点城市之一以来，由于缺乏具有可操作性的配套政策、相关性研究与配套管理体制，分类收集的成效一直不甚乐观，甚至在部分地区还出现倒退现象。由于在我市生活垃圾中厨余比例一直较高，加之我市夏季气候炎热，垃圾容易腐烂发臭，因此填埋原生垃圾的填埋场不可避免就跟恶臭划上了等号。

目前国内针对垃圾处理的社会成本分析的专项核算，并没有公开的标准，相信通过本文相关分析，可以作为城市垃圾处理社会成本分析的一次有意义的探索。

## 研究问题

问题一：建立深圳市城市垃圾处理社会总成本分析模型。

问题二：基于你的模型，完善附件1中提及的深圳市生活垃圾处理诸模式的直接成本估算方法，并估算各模式的当期社会总成本以及未来十年的总成本数量、及诸模式下各分项成本比例的变化趋势。

问题三：基于你的模型，通过远期成本效益分析设计深圳生活垃圾分类制度建设的优选模式，并根据你的模型和分析结果给政府提出相应的决策建议（包括对深圳生活垃圾基础数据调查统计内容的评价和改进建议）。

# 二、符号说明和基本假设



## 符号说明

**表2.1符号说明**

|  |  |
| --- | --- |
| 参数符号 | 符号说明 |
| M | 社会总成本 |
| A | 单位垃圾焚烧社会总成本 |
| C | 垃圾处理量 |
| N | 直接成本 |
| L | 土地成本 |
| B | 建设成本 |
| P | 垃圾处理费 |
| E | 电价补贴 |
| W | 渗沥液补贴 |
| BA | 底灰处理补贴 |
| FA | 飞灰处理补贴 |
| O | 其他补贴 |
| H | 公众健康损失 |
| T | 税收减免 |
| 其他未列出的符号在文中另附说明 | |

## 基本假设

假设一：假设题目所给参考数据文件中数据都是真实有效的数据来源可靠，且能作为预测和检验模型好坏的样本；

假设二：假设收集到的数据不存在误差非常大的数据；

假设三：假设垃圾转运及处理采用就近原则；

假设四：假设垃圾处理各环节中用到的设备标准、折旧及使用年限相同；

假设五：假设垃圾各成本在各区域内均匀分布；

# 三、问题分析

本文研究的是建立垃圾处理社会总成本分析模型及随时间的各分项变化趋势，以《北京市城市生活垃圾焚烧社会成本评估报告》为参考，并根据深圳市现有垃圾处理方式、深圳市垃圾基础数据调查（2010-2015）及相关政策要求建立分析模型和分析其变化趋势，并基于模型，通过远期成本效益分析设计深圳市生活垃圾分类制度的优选模式。

问题一，建立深圳市城市垃圾处理的社会总成本分析模型，采用**生命周期法**的基本思想，采用结构化、模块化自顶向下的计算思路。首先，在明确**社会成本核算边界**原则下，并确定各项生活垃圾处理过程的社会总成本核算边界。基于以上信息，分别建立两种社会总成本分析模型。一、建立各分项成本核算子模型，汇总求和的社会总成本分析模型；二、基于**主成分分析**将社会总成本相关项中所有变量提取主因子，并与总社会成本做**皮尔逊相关性分析**，验证其相关性，后建立**回归分析模型**。

问题二，本问要求在上问模型基础上完善，深圳市垃圾处理诸模式直接成本估算法，并预测当下及未来的总成本，并作分析。在明确直接成本核算边界后，即可从社会总成本模型中重新核算出直接成本估算模型。在进行未来十年垃圾总清运量的预测时，首先对影响垃圾清运量的各个因素进行未来十年的预测，所用到的方法为时间序列算法。然后对影响垃圾清运量的各个自变量进行了因子分析，把这些具有错综复杂关系的变量归结为几个综合因子来进行分析预测。进行因子分析之后，将得到的几个代表因子分别通过RBF神经网络算法和遗传算法+BP神经网络算法这两种方法进行预测。然后对这两种方法得到的预测结果跟2000年—2016年的实际值进行比较，通过误差分析来选出最优的预测方法。最后，再根据这种预测方法计算出2017年—2027年垃圾总清运量的值。将所得到的预测量带入社会总成本分析模型，并求出未来十年各模式的总成本。利用三次指数时间序列算法对未来十年深圳市垃圾的含水率和湿基热值进行预测，并通过成本估算模型分析各模式下各分项成本比例的变化趋势。

问题三，采用远期**成本效益分析**的发方法中的成本效益比（BCR=B/C）进行比较，取第二问预测近十年的（2016-2026）各模式城市垃圾处理社会总成本均值作为远期成本。由于效益为模糊的概念，本题采用**二级综合模糊评价**的方法，根据最大隶属度原则得出其估计值。然后对远期成本做归一化处理后，得出各模式成本效益比率，并根据其成本效益比率大小选择最优垃圾处理模式，并给政府提出相关的决策建议。

# 四、问题一



## 解题思路概述

采用**生命周期法**的基本思想，采用结构化、模块化自顶向下的设计思路，对城市生活垃圾处理流程（垃圾收集、转运、焚烧、生物处理和填埋等）分项，并确定各项生活垃圾处理过程的**社会总成本核算边界**。基于以上信息，分别建立两种社会总成本分析模型。一、建立各分项成本核算子模型，汇总求和的社会总成本分析模型；二、基于**主成分分析**将社会总成本相关项中所有变量提取主因子，并与总社会成本做**皮尔逊相关性分析**，验证其相关性，后建立**回归分析模型**。对上述两个模型对比分析，并解答问题一。

问题一的解题思路流程如下图：



**图 4-1 问题一思路流程图**

## 确定生活垃圾处理社会总成本的核算边界并建立子模型

### 4.2.1垃圾收集和转运成本核算

目前深圳市生活垃圾收集的方式有混合收集、源头分类收集、末端分类收集三种，主要采用混合收集的方式，其收集流程及核算边界如图4-2所示。

**图4-2城市生活收集社会核算边界**

1. **混合收集**

混合收集方式为深圳市目前采用的主要垃圾收集方式，指的是一种统一收集未经任何处理的原生废物的方式，核算其社会成本方法如表4-1所示：

**表4-1生活垃圾混合收集社会成本核算方法**

| 类别 | 项目 | 公式 | 说明 |
| --- | --- | --- | --- |
| 公用垃圾桶成本  （M1-1） | 公用垃圾桶成本（L） |  | U：垃圾桶单价  S：垃圾桶个数  （注：垃圾桶每年换一次） |
| 不锈钢保护套折旧成本（B） |  | b：保护套每组单价  ：保护套组数  （注：每组保护套使用寿命为5年） |
| 不锈钢保护套清洁费（P） |  | p：单位清洁费用  ：保护套组数 |
| 密闭式清洁站成本（M1-2） | 基建折旧（E） |  | DZ：吊装设备市场价  ：吊装设备个数  （注：吊装设备使用寿命为14年） |
| 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 运行维护费（BA） |  |  |
| 运输成本  （M1-3） | 车辆折旧成本 |  | CL：垃圾运输车辆单价  ：垃圾运输车辆个数  （注：垃圾运输车辆使用寿命为10年） |
| 维修及其他费用 |  | WX：垃圾运输车的维修费用  QT：其他费用（包括油费或者电费） |
| 人工成本 |  | GZ：工人每年的平均工资  ：工人数 |
| 动力费 |  | ：表示不同收集桶运往收集站的编码  垃圾运输车运输单位质量垃圾的动力费  ：运输距离  ：运输垃圾量 |

M1（年度生活垃圾收集社会成本）= M1-1+ M1-2+ M1-3

1. **源头分类收集**

源头分类收集较混合收集区别在于采用分类垃圾桶，其社会成本核算为：

M1（年度生活垃圾收集社会成本）= 2\*M1-1+ M1-2+ M1-3

1. **末端分类收集**

**表4-2生活垃圾末端分类社会成本核算方法**

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 高压压榨成本  （M2-1） | 土地扩充成本（L） |  | U：当年地价  S：扩充土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 运行维护费（BA） |  |  |
| 设备折旧（E） |  | ：高压压榨设备市场价  ：高压压榨设备个数  ：设备使用年限 |
| 人工分选成本（M2-2） | 人工成本 |  | GZ：工人每年的平均工资  ：工人数 |

M2（生活垃圾末端分类成本）=M2-1（高压压榨成本）+ M2-2（人工分选成本）

### 4.2.2垃圾转运

1. **中心城区全垃圾转运**

中心城区生活垃圾转运站的建成和投入运行，将减轻各区的清运压力，在提升环境质量和营造更加优美的城市环境方面，将发挥出至关重要的作用，其转运社会成本核算如表4-3所示。

**表4-3中心城区全垃圾转运社会成本核算方法**

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 转运站成本（M3-1） | 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 运行维护费（BA） |  |  |
| 设备折旧（E） |  | ：表示不同类设备的编码  设备市场价  ：设备个数  ：设备使用年限 |
| 人工成本 |  | GZ：工人每年的平均工资  ：工人数 |
| 转运成本  （M3-2） | 车辆折旧成本 |  | CL：垃圾运输车辆单价  ：垃圾运输车辆个数  （注：垃圾运输车辆使用寿命为10年） |
| 维修及其他费用 |  | WX：垃圾运输车的维修费用  QT：其他费用 |
| 动力费 |  | ：表示不同转运站运往焚烧厂或者填埋厂的编码  垃圾运输车运输单位质量垃圾的动力费  ：运输距离  ：运输垃圾量 |

M3（年度生活垃圾转运社会成本）= M3-1+ M3-2

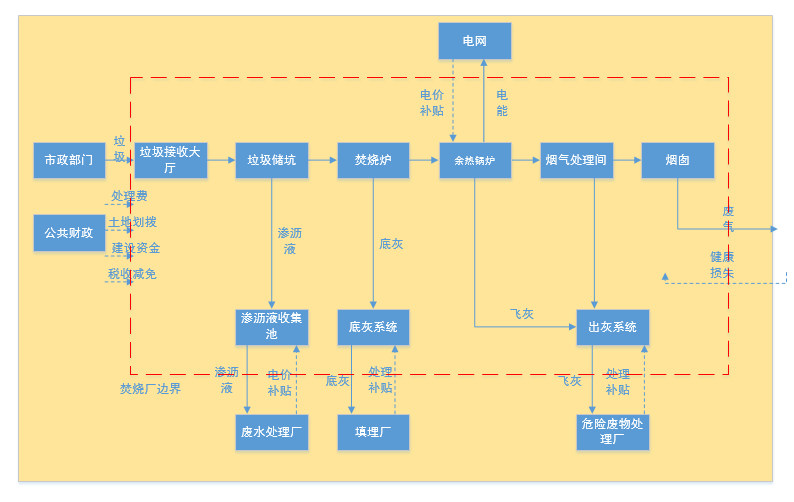
1. **中心城区干垃圾转运**

**中心城区干垃圾转运的成本核算方法与中心城区全垃圾转运的方**

**法相同，区别在于全量转运和干垃圾转运核算时带入的垃圾量不同。**

### 4.2.3垃圾处理

1. **全部焚烧**

****

**图4-4城市生活垃圾全部焚烧社会核算边界**

生活垃圾焚烧的社会成本是指社会因生活垃圾焚烧处置而承担的以市场价为准备全部成本，包括政府通过鼓励政策给焚烧项目的土地划拨、直接资本金划拨、财政补贴、税收减免和公众为焚烧承担的健康损失等。进一步展开核算方法如表4-4所示。

**表4-4生活垃圾焚烧社会成本核算方法**

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 固定成本  （M4-1） | 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 建设成本（B） |  | b：建设补贴 |
| 可变成本  （M4-2） | 垃圾处理费（P） |  | p：单位垃圾处理费  Q：年度垃圾处理量 |
| 电价补贴（E） |  |  |
| 渗沥液补贴（W） | *q* | w：单位污水处理补贴  q：污水处理量 |
| 底灰处理补贴（BA） |  | ：单位底灰处理补贴  ：底灰量 |
| 飞灰处理补贴（FA） |  | ：单位飞灰处理补贴  ：飞灰量 |
| 其他补贴（O） |  | ：清洁生产补贴、贷款优惠等 |
| 税收减免（M4-3） | |  | 企业所得税、营业税、增值税等减免 |
| 公众健康损失（M4-4） | 二噁英健康损失（H） |  | ：不同浓度区域的编码， ：不同浓度区域的二噁英致癌风险  dens：每平方公里人口密度  ：不同浓度区域所占的面积  Costl：个体生命价值  Costc：个体治疗费用 |

M4（年度垃圾焚烧社会成本）= M4-1+ M4-2+ M4-3 +M4-4

1. **干垃圾焚烧**

焚烧成分变成干垃圾后导致的结果是：（1）渗沥液产量率减少；（2）所需辅助燃料量降低；（3）二噁英浓度降低。故核算干垃圾焚烧时，除渗沥液补贴、公众健康损失不计入核算，其余同垃圾焚烧的社会总成本核算方法。

1. **湿垃圾生物处理**

生活垃圾的生物处理是利用自然界中的生物，主要是微生物，将生活垃圾中的可降解有机物转化为稳定的产物、能源和其他有用物质的一种处理技术，实现生活垃圾的减量化、无害化、资源化。其处理流程及社会总成本核算边界，如图4-5所示。



**图4-5湿垃圾生物处理社会总成本核算边界**

湿垃圾生物处理社会成本核算可分四类：固定成本、可变成本、税收减免、沼气收益和废料收益，具体和算方法如图4-4所示。

**表4-4湿垃圾生物处理成本核算方法**

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 固定成本  （M5-1） | 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 建设成本（B） |  | b：建设补贴 |
| 可变成本  （M5-2） | 湿垃圾处理费（P） |  | p：单位湿垃圾处理费  Q：年度湿垃圾处理量 |
| 电价补贴（E） |  |  |
| 发酵菌补贴（W） | *q* | w：单位发酵菌补贴  q：发酵菌需求量 |
| 其他补贴（O） |  | ：清洁生产补贴、贷款优惠等 |
| 税收减免（M5-3） | |  | 企业所得税、营业税、增值税等减免 |
| 处理收益  （M5-4） | 沼气收益（ZQ） |  | ：单位沼气价格  ：沼气产量 |
| 肥料收益（FL） |  | ：单位肥料价格  ：肥料产量 |

M5（年度湿垃圾生物处理社会成本）= M5-1+ M5-2+ M5-3-M5-4

1. **卫生填埋**

 **图4-6城市生活垃圾卫生填埋社会总成本核算边界**

卫生填埋核算边界内的社会成本可分四类：固定成本、可变成本、税收减免和公众健康损失。可以根据以上分类建立年度垃圾填埋成本（M）计算公式。另外，通过年度垃圾填埋成本与年度填埋量可以获得单位生活垃圾的填埋成本（A）。公式的进一步展开及核算方法如表4-5所示。

**表4-5生活垃圾卫生填埋社会成本核算方法**

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 固定成本（M6-1） | 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 建设成本（B） |  | b：单位建设费用  Q：年度垃圾处理量 |
| 可变成本（M6-2） | 垃圾处理费（P） |  | p：单位垃圾处理费  Q：年度垃圾处理量 |
| 电价补贴（E） |  | e：当地燃煤发电机组上网电价  t：发电填埋气量  g：每立方米沼气发电量 |
| 渗滤水补贴（W） | *q* | w：单位污水处理补贴  q：污水处理量 |
| 燃气补贴（R） | *k* | r：当地燃气价格  k：燃气转化填埋气量  γ：填埋气转化系数 |
| 其他补贴（O） |  | ：清洁生产补贴、贷款优惠等 |
| 税收减免（M6-3） | |  | 企业所得税、营业税、增值税等减免 |

M6（年度垃圾卫生填埋社会成本）= M6-1+ M6-3+ M6-2

**计算说明：**

**电价补贴**

2015年，广东省物价局发布《关于沼气发电项目上网电价的通知》，指出沼气发电项目的上网电价为每千瓦时0.75元。电网公司与上述发电项目的结算价格暂定为每千瓦时0.5524元，结算价格高出燃煤机组标杆上网电价（2016年国家发展改革委关于降低燃煤发电上网电价和一般工商业用电价格的通知 为：0.4505元/千瓦时）部分通过销售电价调整予以疏导。在电价补贴下，社会负担的成本主要为包括：上网电价补贴（）。

由于填埋厂并不是燃煤发电厂，享受了土地划拨，建设补贴，渗滤水处置等政策优惠，大部分固定成本及可变成本都不需企业承担，因此，每吨垃圾的电价补贴公式为：

其中，*E*为年度电价补贴，*e*为当地燃煤发电机组上网电价，*Q*为年填埋气量（以沼气主要气体），*g*为每立方米沼气发电量。

**健康损失：**

垃圾填埋主要污染为水污染、大气污染、土壤污染，其中水污染在有完善的渗滤水处理设备下，可极大降低其污染程度；垃圾填埋大气污染属于轻微污染，可通过导气覆盖，建立隔绝带降低；土壤污染基本仅限于填埋厂区内，所以可近似忽略其污染导致的健康损失。根据2011年山西省环境保护技术评估中心的生活垃圾卫生填埋场填埋气体产气量，生活垃圾填埋处理后每吨垃圾每年可产生10Nm3左右（差不多10年产气周期内的平均值）,实际可收集的约6-7Nm3。

1. **简易堆填**

生活垃圾简易填埋是一种采用简单堆填处理垃圾的方式，只是对垃圾进行土壤覆盖，对解决蚊蝇等卫生问题起到了一定的积极作用，但不能从根本上解决污染控制问题。

生活垃圾简易填埋不仅占用土地，同时各类难以降解的化学物质还会对土壤造成污染。生活垃圾腐烂形成渗滤液会给地表水和地下水带来污染。生活垃圾腐败产生恶臭污染和填埋气体会带来空气污染。

此外，由于垃圾引起的环境卫生问题如病菌、病毒的传播等也给居民健康造成威胁。

采用生活垃圾简易堆填方式的社会总成本核算边界图如下：



**图4-7城市生活垃圾简易堆填社会总成本核算边界**

边界内的成本可分四类：固定成本、可变成本、税收减免和公众健康损失。可以根据以上分类建立年度垃圾填埋成本（M）计算公式，其具体核算方法如表4-6所示。

**表4-6生活垃圾填埋社会成本核算方法**

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 固定成本（M7-1） | 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 建设成本（B） |  | b：建设补贴 |
| 可变成本（M7-2） | 垃圾处理费（P） |  | p：单位垃圾处理费  Q：年度垃圾处理量 |
| 其他补贴（O） |  | ：清洁生产补贴、贷款优惠等 |
| 税收减免（T） | |  | 企业所得税、营业税、增值税等减免 |
| 水资源损失（S） | |  | c：当年水价  d：污染水源量 |
| 公众健康损失（H） | | 微生物气溶胶（H） |  |

M7（年度垃圾填埋社会成本）= M7-1+ M7-2

**水资源损失**

基于刘长礼在《垃圾堆埋对石家庄地下水源的污染及其防治对策》（地质通报）中的水资源污染评定方法判定污染水源。

**公众健康损失**

垃圾在无卫生处理下对附近居民潜在的负面的健康影响，含有致病菌的微生物气溶胶, 会导致工人产生呼吸系统疾病肠道不适和皮肤过敏等。通常在适当的条件下, 这些微生物对人类会表现出易感染性、致过敏性、致毒性和致癌性, 导致人们产生急性或者慢性疾病。目前，并无准确核算总的微生物气溶胶产生量的方法。本文基于梁嘉在《城市生活垃圾堆填区微生物气溶胶的健康风险》（环境污染防治及开发）中提出的估算模型，结合垃圾填埋量和基于“工资—风险”法计算的个体生命价值估算公众健康损失。

1. **灰渣填埋**

生活垃圾焚烧灰渣产生于高温氧化过程，是生活垃圾焚烧的副产物。根据《垃圾焚烧炉渣的性质及其利用前景》主要内容简要分析，其中渗滤液为主要污染物质，且垃圾渗滤液相比，炉渣渗滤液的显著特点是重金属浓度较大，对填埋场周围环境具有影响。

灰渣填埋的社会总成本核算边界如下：



**图4-8灰渣填埋的社会总成本核算边界**

灰渣填埋核算边界内的成本可分四类：固定成本、可变成本、税收减免和公众健康损失。可以根据以上分类建立年度垃圾灰渣成本（M）计算公式，如表4-7所示。

**表4-7灰渣填埋社会成本核算方法**

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 固定成本（M8-1） | 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 建设成本（B） |  | b：建设补贴 |
| 可变成本（M8-2） | 炉渣处理费（P） |  | p：单位炉渣处理费  Q：年度炉渣处理量 |
| 其他补贴（O） |  | ：清洁生产补贴、贷款优惠等 |
| 税收减免（M8-3） | |  | 企业所得税、营业税、增值税等减免 |

M8（年度灰渣填埋社会成本）= M8-1+ M8-2+ M8-3

炉渣填埋对环境影响较简易堆填和卫生填埋较小，不计入社会总成本计算。

## 建立生活垃圾处理社会总成本核算模型

### 4.3.1根据上述子模型构建深圳市城市垃圾社会总成本（M）核算模型

++

其中，根据深圳市当下垃圾处理模式（混合收集+部分卫生填埋+部分焚烧+部分简易堆填）选择相应流程项子模型带入，记得当下深圳市垃圾处理社会总成本模型：

### 4.3.1基于主成分分析建立回归模型

1. **因子分析**

因子分析是指研究从变量群中提取共性因子的统计技术。最早由英国心理学家C.E.斯皮尔曼提出。因子分析可在许多变量中找出隐藏的具有代表性的因子。将相同本质的变量归入一个因子，可减少变量的数目，还可检验变量间关系的假设。

因子分析所采用的方法约有10多种，如重心法、影像分析法，最大似然解、最小平方法、阿尔发抽因法、拉奥典型抽因法等等。这些方法本质上大都属近似方法，是以相关系数矩阵为基础的，所不同的是相关系数矩阵对角线上的值，采用不同的共同性□2估值。在社会学研究中，因子分析常采用以主成分分析为基础的反覆法。

1. **回归分析概念及方法**

**回归分析**（regression analysis)是确定两种或两种以上变量间相互依赖的定量关系的一种统计分析方法。运用十分广泛，回归分析按照涉及的变量的多少，分为一元回归和多元回归分析；在线性回归中，按照因变量的多少，可分为[简单回归](http://baike.baidu.com/item/%E7%AE%80%E5%8D%95%E5%9B%9E%E5%BD%92)分析和多重回归分析；按照[自变量](http://baike.baidu.com/item/%E8%87%AA%E5%8F%98%E9%87%8F)和[因变量](http://baike.baidu.com/item/%E5%9B%A0%E5%8F%98%E9%87%8F)之间的关系类型，可分为[线性回归](http://baike.baidu.com/item/%E7%BA%BF%E6%80%A7%E5%9B%9E%E5%BD%92)分析和[非线性回归](http://baike.baidu.com/item/%E9%9D%9E%E7%BA%BF%E6%80%A7%E5%9B%9E%E5%BD%92)分析。

其回归分析步骤如下：

1. 确定变量，明确预测的具体目标，也就确定了[因变量](http://baike.baidu.com/item/%E5%9B%A0%E5%8F%98%E9%87%8F)。通过市场调查和查阅资料，寻找与预测目标的相关影响因素，即自变量，并从中选出主要的影响因素。
2. 建立预测模型，依据自变量和因变量的历史统计资料进行计算，在此基础上建立回归分析方程，即回归分析预测模型。
3. 进行相关分析，回归分析是对具有因果关系的影响因素（自变量）和预测对象（因变量）所进行的[数理统计](http://baike.baidu.com/item/%E6%95%B0%E7%90%86%E7%BB%9F%E8%AE%A1)分析处理。只有当自变量与因变量确实存在某种关系时，建立的回归方程才有意义。因此，作为自变量的因素与作为因变量的预测对象是否有关，相关程度如何，以及判断这种相关程度的把握性多大，就成为进行回归分析必须要解决的问题。
4. 计算预测误差，回归预测模型是否可用于实际预测，取决于对回归预测模型的检验和对预测误差的计算。
5. 确定预测值，利用回归预测模型计算预测值，并对预测值进行综合分析，确定最后的预测值。
6. **数据处理**

由统计材料，深圳市垃圾处理模式及相关流程较为复杂，项目较多，故在确定各分项社会成本的核算边界，并收集计算前10年的数据（2005-2016）。

**第一步**，确定其相关变量，如其中为垃圾处理流程分项中与社会总成本相关的变量，具体变量计算参见各分项社会成本核算表4-1~表4-7。将所有相关变量（m=1…11）导入软件SPSS 19.0进行主KMO检验和Bartlett球形检验，KMO测度值及Bartlett球形检验显著性水平达到要求后，进行下一步因子分析。

**第二步**，根据分析结果提取特征值大于1的因子S（S=1，2…）个，并得到碎石图，S个因子累积方差达到85%，且其内部一致性系数均在0.70以上，具有良好的内部一致性。

**第三步**，为进一步建立社会成本统计模型，将近10年S个因子统计数据与社会总成本核算结果进行皮尔逊相关性分析，取显著性水平均小于0.05的因子Q个作为模型自变量，并建立相关模型。

**第四步**，取社会总成本为因变量y，步骤三中显著性水平小于0.05的因子为自变量，采用逐步回归方法，建立回归分析模型，模型如下：



其中 为数据导入软件SPSS19.0，并作逐步回归分析后的模型系数。

### 4.3.2结果对比及评价

将以上两种垃圾处理社会总成本分析模型的近十年数据对比分析，其中将子模型求和得到社会总成本分析模型考虑各因素较全面，可作为评价回归分析模型标准。若经检验所得误差均在95%的置信区间内，则可认为由回归分析得到的垃圾处理社会总成本分析模型具有较高的可信度。模型二提供了一种计算较为简单、误差较小的计算方法，可根据实际需要选择以上两种模型进行垃圾处理社会总成本的预测、分析及检验等。

# 五、问题二



## 完善深圳市生活垃圾处理诸模式直接成本估算

### 5.1.1解题思路

对于问题二，主要分为以下四步进行解答：

（一）、利用第一问中的垃圾处理总成本模型对深圳市诸模式的直接成本估算方法进行完善；

（二）、估算各模式的当期社会总成本：

（三）、首先对影响垃圾清运量的十三个自变量进行了因子分析，把这些具有错综复杂关系的变量归结为几个综合因子来进行分析预测。在进行因子分析后，将得到的几个代表因子分别通过RBF神经网络算法和遗传算法+BP神经网络算法这两种方法进行预测。然后对这两种方法得到的预测结果跟2000年—2016年的实际值进行比较，通过误差分析来选出最优的预测方法。最后，再根据这种预测方法计算出2017年—2027年垃圾总清运量的值。将所得到的预测量带入社会总成本分析模型，并求出未来十年各模式的总成本；

（四）、利用三次指数时间序列算法对未来十年深圳市垃圾的含水率和湿基热值进行预测，并通过成本估算模型分析各模式下各分项成本比例的变化趋势。

### 5.1.2完善深圳市生活垃圾处理诸模式的直接成本估算方法

**（一）、直接成本定义：**

直接成本包括直接材料费用、直接人工成本等成本。

**（二）、各模式的直接成本估算方法：**

**(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）：**

直接成本：

为混合收集直接成本，为部分垃圾卫生填埋直接成本，部分垃圾焚烧直接成本，为部分垃圾简易堆填直接成本。

混合收集直接成本计算说明：

核算边界内的直接成本分为三类：一是公用垃圾桶成本；二是密闭式清洁站成本；三是运输成本。具体计算方法如表5-1所示：

**表 5-1生活垃圾收集直接成本核算方法**

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 公用垃圾桶成本  （N1-1） | 公用垃圾桶成本（L） |  | U：垃圾桶单价  S：垃圾桶个数  （注：垃圾桶每年换一次） |
| 不锈钢保护套折旧成本（B） |  | b：保护套每组单价  ：保护套组数  （注：每组保护套使用寿命为5年） |
| 不锈钢保护套清洁费（P） |  | p：单位清洁费用  ：保护套组数 |
| 密闭式清洁站成本（N1-2） | 基建折旧（E） |  | DZ：吊装设备市场价  ：吊装设备个数  （注：吊装设备使用寿命为14年） |
| 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 运行维护费（BA） |  |  |
| 运输成本  （N1-3） | 车辆折旧成本 |  | CL：垃圾运输车辆单价  ：垃圾运输车辆个数  （注：垃圾运输车辆使用寿命为10年） |
| 维修及其他费用 |  | WX：垃圾运输车的维修费用  QT：其他费用（包括油费或者电费） |
| 人工成本 |  | GZ：工人每年的平均工资  ：工人数 |
| 动力费 |  | ：表示不同收集桶运往收集站的编码  垃圾运输车运输单位质量垃圾的动力费  ：运输距离  ：运输垃圾量 |

垃圾卫生填埋直接成本计算说明：

核算边界内的直接成本可分两类：一是固定成本，即成本总额在一定时期和一定业务量范围内，不受业务量增减变动影响而能保持不变的成本，包括土地成本、建设成本；二是可变成本，即在总成本中随产量的变化而变动的成本项目，主要为垃圾处理费（填埋作业、雨水分流、渗滤水处理、填埋气处理等费用）。具体计算方法如表5-2所示：

**表 5-2生活垃圾卫生填埋直接成本核算方法**

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 固定成本（N2-1） | 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 建设成本（B） |  | b：建设补贴 |
| 可变成本（N2-2） | 垃圾处理费（P） |  | p：单位垃圾填埋费  Q：年度垃圾填埋量 |

垃圾焚烧直接成本计算说明：

核算边界内的直接成本包括两类：一是固定成本；二是可变成本。具体计算方法如表5-3所示：

**表 5-3生活垃圾焚烧社会成本核算方法**

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 固定成本  （N3-1） | 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 建设成本（B） |  | b：建设补贴 |
| 可变成本  （N3-2） | 垃圾处理费（P） |  | p：单位垃圾处理费  Q：年度垃圾处理量 |

垃圾简易堆填直接成本计算说明：

核算边界内的直接成本包括两类：一是固定成本；二是可变成本。具体计算方法与垃圾卫生填埋直接成本的核算方法相同，但是单位垃圾处理费不同。

**（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）**

直接成本：

为混合收集直接成本，为全量焚烧直接成本，为灰渣填埋直接成本，为中心城区垃圾全量转运直接成本。由于焚烧灰渣的体积仅为原来的10~15%，所以根据焚烧垃圾量求出灰渣的体积再代入表 5-2中求出灰渣填埋的直接成本。

中心城区垃圾全量转运直接成本计算说明：

核算边界内的直接成本包括两类：一是固定成本；二是可变成本。

具体计算方法如表5-４所示：

表 ５‑４　中心城区垃圾全量转运成本核算方法

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 固定成本（N６-1） | 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 转运站建设成本\*（B） |  | b：建设补贴  t：使用年限20年 |
| 设备成本（S） |  | s：运输车辆价格  n：运输车辆数  z：运输车辆折旧 |
| 可变成本（N６-２） | 燃油费（W） | *q* | w：然油价格  q： 燃油量 |
| 附加费（O） |  | ：人员工资、服装、培训、保险修理费用等 |

**\***设备成本：主要为运输车辆费用。

**燃油费：**燃油费用采用单位面积垃圾产生量法计算转运站和焚烧厂服务范围类的垃圾处理量和

产生的运输燃油费用。计算公式为燃油费用S 为服务区域面积m2；γ 为单位面积垃圾产生量（垃圾密度），t/（km2·d）（总垃圾量/深圳市面积）；δ 为车运载量，t；δ为每公里燃油费，元/Km；L为平均距离，Km。

**（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）**

直接成本：

为源头分类收集直接成本，为湿垃圾生物处理直接成本，为干垃圾焚烧直接成本，为中心城区干垃圾转运直接成本。其中，源头分类收集的直接成本与垃圾混合收集的直接成本的核算方法相同，只是为了分类收集需要增加公用垃圾桶，则这一部分的成本核算变为混合收集公用垃圾桶成本的两倍。中心城区干垃圾转运的直接成本的计算取中心城区全垃圾转运成本核算中γ为单位面积垃圾产生量（垃圾密度）为干垃圾单位面积产生量密度。带入表5-4中计算即可。

湿垃圾生物处理直接成本的计算说明：

　　核算边界内的直接成本包括两类：一是固定成本，二是可变成本，三是处理收益。具体计算方法如表５‑5所示：

**表5-5 湿垃圾生物处理成本核算方法**

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 固定成本  （N8-1） | 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 建设成本（B） |  | b：建设补贴 |
| 可变成本  （N8-2） | 湿垃圾处理费（P） |  | p：单位湿垃圾处理费  Q：年度湿垃圾处理量 |
| 处理收益  （N8-3） | 沼气收益（ZQ） |  | ：单位沼气价格  ：沼气产量 |
| 肥料收益（FL） |  | ：单位肥料价格  ：肥料产量 |

**（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）**

直接成本：

为混合收集直接成本，为末端分类直接成本，为湿垃圾生物处理直接成本，为干垃圾焚烧直接成本，为中心城区干垃圾转运直接成本。

末端分类直接成本计算说明：

核算边界内的直接成本包括两类：一是固定成本，二是可变成本，具体计算方法如表5-6所示：

表 ５‑6　末端分类直接成本核算方法

| **类别** | **项目** | **公式** | **说明** |
| --- | --- | --- | --- |
| 固定成本（N11-1） | 土地成本（L） |  | U：当年地价  S：土地面积  i：折现率  n：工业用地50年 |
| 分类站建设成本\*（B） |  | b：建设补贴  t：使用年限20年 |
| 设备成本（S） |  | s：垃圾分类设备价格  n：垃圾分类设备数量  z：垃圾分类设备折旧 |
| 可变成本（N11-２） | 垃圾处理费（P） |  | p：单位垃圾处理费  Q：年度垃圾处理量 |
| 附加费（O） |  | ：人员工资、服装、培训、保险修理费用等 |

## 估算各模式当期社会总成本和未来十年的社会总成本

### 5.2.1当期社会总成本的计算

**（一）、垃圾处理不同环节的总成本计算说明和核算结果：**

通过查找相关资料，确定对应变量的具体数值，对垃圾处理不同环节的总成本进一步计算如表5-5、表5-6、表5-7、表5-8和表5-9所示。

**表 5-7收集成本计算说明与核算结果**

| **成本类型** | **成本明细** | **计算说明** | **总费用（元/年）** | **成本（元/吨）** |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 公用垃圾桶成本 | 公用垃圾桶成本 | 2800元/个（240L），38个；一年置换一次 | 10640 | 9.1 |
|  | 不锈钢保护套折旧成本 | 3500元/组，38个；使用寿命5年 | 25536 | 21.9 |
|  | 不锈钢保护套清洁费 | 60元/（年·个），38个 | 2280 | 2.0 |
| 密闭式清洁站成本 | 基建折旧 | 吊装设备市场价为9万元/套（含2个集装箱）；使用寿命14年 | 6171 | 5.3 |
|  | 土地成本 | 深圳市2016年商业用地价格12787元/ m³ ，按商业用地40年的使用年限计算 | 44755 | 38.3 |
|  | 运行维护费 | 人员工资、水电、保险、清洁维护等费用 | 486744 | 416.7 |
|  | 车辆折旧成本 | 9万元/辆，3辆；使用寿命10年 | 25920 | 22.2 |
| 运输成本 | 维修及其他成本 | 维修费500元/年，其他费用1500元/年 | 2000 | 1.7 |
|  | 人工成本 | 工人10名，1380元/（人·月），津贴福利7064元/（年·人） | 236240 | 202.3 |
|  | 动力费 | 相关油费 | 9000 | 7.7 |
| 合计 |  |  |  | 727.2 |

**表 5-8垃圾转运站转运成本计算说明与核算结果**

| **项目** | **转运站成本** | **运输成本** | | **人工费** | **动力费** | **材料费（含轮胎）** | | | **工艺费** | | **修理** | **折旧** | **资产税费** | | **期间管理** | | | **汇总** | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 成本（元/吨） | 51.4 | | 150 | 19.3 | 1.8 | 1.4 |  |  | | 4.8 | 4.3 | 1.7 | | 1.4 | 4.4 |  |  | |  | 240.5 | |

**表 5-9垃圾焚烧成本计算说明与核算结果（单位：万元）**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 成本项目 | 指标 | | 顺义区生活垃圾综合处理厂 | 计算说明 |
| 固定成本 | 土地补贴 | | 30.190 | 厂区2.4公顷，焚烧量占比45.67%，焚烧项目土地分摊4.564亩，折现率6%，基准地价82.2万元/亩 |
| 建设补贴 | | 17.641 | 总投资1026.76，焚烧量占比45.76%，30年设备折旧 |
| 可变成本 | 垃圾处理费 | 最近一年垃圾处理费用 （2015） | 500.150 | 每吨150元处理费，3万t，实际拨付4912.2万元 |
| 电价补贴 | 280度以内上网电价补贴 | 0.000 | 无上网电量 |
| 280度以外上网电价补贴 | 0.000 | 无上网电量 |
| 沼气发电补贴 | 0.000 | 无上网电量 |
| 渗沥液补贴 | | 7.795 | 进入填埋区处理，年产生0.6万t渗沥液，渗沥液处理市场价124.2元/t |
| 底灰补贴 | | 92.739 | 底灰在厂内填埋区处理，年产底灰2.79万t，填埋成本456.16元/t |
| 飞灰补贴 | |  | 年飞灰量0.0263万t，外运处置，费用焚烧厂承担 |
| 其他 | 清洁生产补贴 | 5.300 | 2015获得10.3万元 |
| 税收减免 | 税收 | 营业税 | 20.008 | 5%的税率，垃圾处理服务费免除税额 |
| 发电增值税 | 0.000 | 无发电收入 |
| 企业所得税 | 19.470 | 垃圾处理费为主要收入，垃圾处理成本109.82元/t |
| 健康损失 | 致癌健康损失 | | — | 由于存在风险叠加，焚烧厂合并计算 |
| 计算结果 | 年社会成本 | | 693.292 |  |
| 单位垃圾社会成本（元） | | 231.097 |  |

湿垃圾处理成本计算说明与核算结果

**表 5-10湿垃圾处理厂成本**

| **项目** | **发酵、仪器设备投资** | **实验室设备** | **土建投资** | **其他费用** | **合计** |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 成本（元/吨） | 2 | 2.14 | 6.97 | 0.25 | 11.36 | |

**表 5-11 湿垃圾处理厂收益**

| **项目** | **沼气及肥料收益** |
| --- | --- |
| 收益（元/吨） | 46 |

（缺少填埋的成本核算）

**（二）、现状模式下当期社会总成本计算说明和核算结果：**

**表 5-12 16年深圳市各模式垃圾处理社会总成本（单位/万元）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 垃圾处理厂 | | | 现状模式 | 模式一 | | 模式二 | | | 模式三 | |
| 老虎坑垃圾焚烧厂 | | | 11260.5 | 22521.94 | | 9008.777 | | | 9008.777 | |
| 南山垃圾焚烧厂 | | | 5630.25 | 11260.97 | | 4504.389 | | | 4504.389 | |
| 盐田垃圾焚烧厂 | | | 16891.6 | 33782.91 | | 13513.17 | | | 13513.17 | |
| 龙岗中心城垃圾焚烧厂 | | | 14076.3 | 28152.43 | | 11260.97 | | | 11260.97 | |
| 平湖坑垃圾焚烧厂 | | | 10557.4 | 21114.322 | | 8445.7287 | | | 8445.7287 | |
| 市政环卫综合处理厂 | | | 9149.5 | 18299.079 | | 7319.6316 | | | 7319.6316 | |
| 下坪固体废弃物填埋场（包含部分简易堆填） | | | 19065.4438 | 1032.19[1] | | 0 | | | 0 | |
| 宝安老虎坑卫生填埋场 | | | 5732.23 | 0 | | 0 | | | 0 | |
| 龙岗坪西垃圾卫生填埋场 | | | 1910.67 | 0 | | 0 | | | 0 | |
| 垃圾收集 | 混合收集 | | 42522.92 | 42677.92 | | 0 | | | 0 | |
| 源头分类收集 | | 0 | 0 | | 85644.38 | | | 0 | |
| 末端分类 | | 0 | 0 | | 0 | | | 95340.54 | |
| 垃圾转运 | 普通转运 |  | 30055.63 | 0 |  | | 0 |  | | 0 | |
| 中心城区全量转运 |  | 0 | 28251.74 |  | | 0 |  | | 0 | |
| 中心城区干垃圾转运 |  | 0 | 0 |  | | 11300.70 |  | | 11300.70 | |
| 合计 |  |  | 308742.87 | 357092.85 |  | | 414230.56 |  | | 384828.15 | |

[1]由于焚烧灰渣的体积仅为原来的10~15%，因此根据2016年深圳市垃圾清运量为584.7万吨，得灰渣产生量为87.71万吨，故采取就近运输原则，首选下坪固体废弃物填埋场进行填埋即可满足填埋需求。

### 5.2.2未来十年深圳市垃圾请运量的预测

**（一）、影响因素分析**

城市生活垃圾产生量的影响因素主要分为四类：内在因素、自然因素、个体因素和社会因素[4]。内在因素是与垃圾产生量直接相关的因素，其变化对生活垃圾产生量的影响直接而迅速，如人口、经济发展水平、居民消费水平等。自然因素的影响主要指地域或季节造成生活垃圾产生量的差异，主要与城市能源结构有关。个体因素指垃圾产生个体间的生活习惯、环保意识等差异造成生活垃圾产生量不同。社会因素主要指与垃圾减量、回收利用相关的法律法规及制度等对垃圾产生系统产生约束从而影响垃圾产生量。在这四类影响因素中，内在因素对生活垃圾产生量的影响占主导地位。

综合考虑各社会经济因素对生活垃圾产量的影响程度、深圳市实际情况、统计数据的获取难度以及建模困难程度等因素，选取人口、经济发展水平、居民生活水平和垃圾收费情况等四大类社会经济因素作为生活垃圾产量模型的主要影响因素。

一般来说，城市规模越大，聚居人口越多，产生的垃圾量也越多。但就人口系统内部而言, 随着人口数量增加，人口密度也快速增长，当人口密度增加至一定程度，人均资源占有量下降，必然会对人口增长起到制约作用。

经济发展水平对生活垃圾产量也有较大影响。经济越发达的地区，其工商业、制造业、贸易业等行业发展程度均较高，随之也会产生更多的生活垃圾。统计显示，美国等发达国家和地区早在20世纪90年代人均垃圾日产量就超过2千克，而当时中国人均垃圾日产量仅为0.6千克。另外，经济发展水平直接影响居民生活水平，也会对生活垃圾产量产生较大影响。

居民生活水平，既包括城市居民的生活消费水平，也包括市场商品的品种和供应方式。例如，随着居民生活水平提高，市场上居民日常消费品包装也越来越复杂，随之引起了生活垃圾产生量的增加和组分的变化。另外，居民生活水平提高，其生活习惯必然会发生相应的变化，可能会产生更多的瓜果皮、剩菜剩饭等厨余垃圾，生活垃圾产量也随之显著上升。但当居民生活水平提高到一定程度后，居民消费中几乎不产生垃圾的服务性消费或精神层面消费比重逐渐上升，此时，生活水平的提高对垃圾产量的影响又变得不十分显著。因此，居民生活水平提升，会使生活垃圾产量发生较复杂的变化，并使生活垃圾物理组成发生一定的改变。另一方面，有研究表明随着居民生活水平提高，居民的环保意识也会增强，在平时生活中会投入更多时间精力进行垃圾回收再利用，相反会导致生活垃圾产量下降。

垃圾收费能增强居民的垃圾减量意识，但由于长期养成的生活习惯具有一定的惯，影响具有滞后性。不同的垃圾收费方式对垃圾减量的效果也有较大的差别。定额收费的依据是排放行为，即只要有垃圾排放这种行为，就要交费，且缴纳费并不会随着排放量的增加而增加，因此定额收费对垃圾减量的效果并不明显。相反，从量收费可以在较大范围内调整人们的行为方式，减少垃圾的排放量，减少的数量取决于生活用品的种类和它们的可替代性、生活垃圾的总量、人们的收入水平和单位垃圾收费定额。

**（二）、运用时间序列算法对于未来十年内影响垃圾清运量变化的各个因素进行预测**

**（1）、时间序列介绍**

**时间序列方法原理**

时间序列预测技术就是通过对预测目标自身时间序列的处理，来研究其变化趋势。而在时间序列方法中，当时间序列的表现为二次曲线趋势时，则需要用三次指数平滑法。其计算公式为：

设时间序列为为加权系数，0<∝<1,一次指数平滑公式为

 （1-1）

移动平均数的递推公式为以作为的最佳估计，则有

， （1-2）

令，以代替，即

 （1-3）

为进一步理解指数平滑的实质，把式（1-1）依次展开，有

 （1-4）

式（1-4）表明是全部历史数据的加权平均，加权系数分别为显然有

 （1-5）

由于加权系数符合指数规律，又具有平滑数据的功能，故称之为指数平滑。

以这种平滑值进行预测，就是一次指数平滑法。

故三次平滑公式为

其中

**时间序列方法预测结果：**

本题要计算垃圾清运量，需要对城市生活垃圾清运量（万吨）、本市生产总值（GDP）/亿元、年末全市常住人口/万人、旅游住宿设施接待过夜游客/万人、城市家庭年人均可支配收入/元、城市家庭年人均消费性支出/元、社会消费品零售总额/亿元、第三产业/亿元、环保投资/亿元、全社会固定资产投资/亿元、自然保护区覆盖率/%、人均公共绿地面积/㎡、建成区绿化覆盖面积/公顷、道路清扫保洁面积/万m2这十三个因素进行时间序列预测。

时间序列预测部分结果如图5-2和图5-3所示（由于因素较多，故而只展现部分数据预测结果）。



**图 5-2 2000-2027年本市常住人口趋势**



**图 5-3 2000-2027年本市GDP趋势**

由时间序列算法预测的影响垃圾清运量的各个因素的结果如表5-16所示：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 本市生产总值（GDP）/亿元 | 年末全市常住人口/万人 | 旅游住宿设施接待过夜游客/万人 | 城市家庭年人均可支配收入/元 | 城市家庭年人均消费性支出/元 | 社会消费品零售总额/亿元 | 第三产业/亿元 | 环保投资/亿元 | 全社会固定资产投资/亿元 | 自然保护区覆盖率/% | 人均公共绿地面积/㎡ | 建成区绿化覆盖面积/公顷 | 道路清扫保洁面积/万m2 |
| 2017 | 21090.99 | 1180.00 | 6413.60 | 52834.08 | 38988.00 | 6154.90 | 12629.00 | 298.65 | 4380.80 | 30.65 | 17.10 | 40584.00 | 32637.00 |
| 2018 | 22820.45 | 1220.00 | 6954.50 | 57324.97 | 42412.00 | 6720.90 | 14151.00 | 298.65 | 4916.60 | 30.65 | 17.20 | 40355.00 | 35716.00 |
| 2019 | 24691.73 | 1260.00 | 7522.00 | 62197.59 | 46076.00 | 7312.40 | 15771.00 | 298.65 | 5490.20 | 30.65 | 17.30 | 39937.00 | 38950.00 |
| 2020 | 26000.00 | 1310.00 | 8116.10 | 67297.80 | 49979.00 | 7929.30 | 17489.00 | 298.65 | 6101.60 | 30.65 | 17.40 | 39331.00 | 42340.00 |
| 2021 | 28223.62 | 1360.00 | 8736.90 | 71988.00 | 54122.00 | 8571.70 | 19305.00 | 298.65 | 6750.70 | 30.65 | 17.50 | 38536.00 | 45885.00 |
| 2022 | 30214.00 | 1409.50 | 9384.30 | 77314.00 | 58505.00 | 9239.50 | 21219.00 | 298.65 | 7437.60 | 30.65 | 17.60 | 37553.00 | 49585.00 |
| 2023 | 32264.00 | 1462.20 | 10058.00 | 82919.00 | 63127.00 | 9932.80 | 23231.00 | 298.65 | 8162.30 | 30.65 | 17.70 | 36381.00 | 53441.00 |
| 2024 | 34407.00 | 1517.00 | 10759.00 | 88803.00 | 67989.00 | 10651.00 | 25341.00 | 298.65 | 8924.70 | 30.65 | 17.80 | 35021.00 | 57452.00 |
| 2025 | 36581.00 | 1573.90 | 11486.00 | 94966.00 | 73091.00 | 11395.00 | 27549.00 | 298.65 | 9724.90 | 30.65 | 17.90 | 33472.00 | 61618.00 |
| 2026 | 38837.00 | 1632.80 | 12240.00 | 101410.00 | 78432.00 | 12164.00 | 29855.00 | 298.65 | 10563.00 | 30.65 | 18.00 | 31735.00 | 65940.00 |
| 2027 | 41108.00 | 1693.80 | 13021.00 | 108130.00 | 84013.00 | 12959.00 | 32259.00 | 298.65 | 11439.00 | 30.65 | 18.10 | 29809.00 | 70417.00 |

**（三）、对各个影响因素的因子分析**

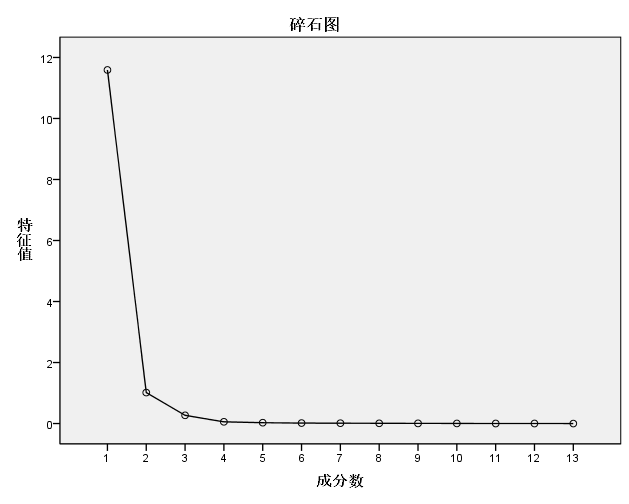
从10年间的数据中进行探索性因子分析(Exploratory Factor Analysis,EFA), 产生观测变量间的因素结构模型。

**（1）、探索性因素分析（EFA）**

**spss分析结果如表5-13所示：**

| **表5-13 KMO 和 Bartlett 的检验** | | |
| --- | --- | --- |
| 取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量。 | | .853 |
| Bartlett 的球形度检验 | 近似卡方 | 725.441 |
| df | 78 |
| Sig. | .000 |

通过表5-13说明kmo=0.853，说明样本大小适合做因子分析；Bartlett=725.441，df=78，sig=0.000小于显著水平，说明变量之间有共享因子的可能性，适合进行因素分析。



**图5-1 各影像因素的碎石图**

通过碎石图显示，从第3个因子开始，曲线变平缓，因此，提取3个因子比较合适。

另外，对这三个因子的因子结构及其载荷值进行了分析得到结果如表5-14所示：

| **表5-14 因子结构及其载荷值** | | | |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 因子 | | |
| 1 | 2 | 3 |
| 城市家庭年人均消费性支出 | .939 |  |  |
| 全社会固定资产投资 | .906 |  |  |
| 第三产业 | .894 |  |  |
| 城市家庭年人均可支配收入 | .890 |  |  |
| 道路清扫保洁面积 | .862 |  |  |
| 旅游住宿设施接待过夜游客 | .856 |  |  |
| GDP | .851 |  |  |
| 社会消费品零售总额 | .841 |  |  |
| 年末全市常住人口 | .808 |  |  |
| 建成区绿化覆盖面积 |  | .916 |  |
| 人均公共绿地面积 |  | .872 |  |
| 环保投资 |  | .718 |  |
| 自然保护区覆盖率 |  |  | .691 |

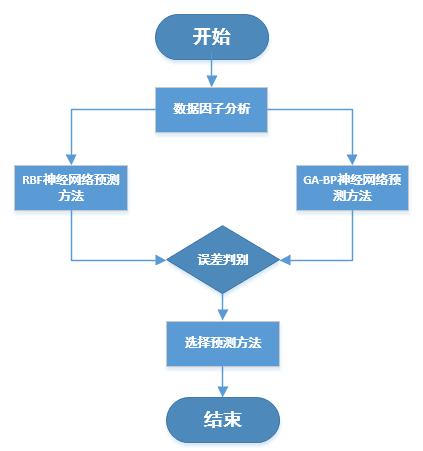
进一步对这三个因子的因子得分系数进行分析得到结果如表5-15所示：

| **表5-15 因子得分系数矩阵** | | | |
| --- | --- | --- | --- |
| X(n) | 成份 | | |
| f1 | f2 | f3 |
| (X1 )GDP | .139 | -.021 | -.042 |
| (X2 )年末全市常住人口 | .098 | .070 | -.092 |
| (X3)旅游住宿设施接待过夜游客/万人 | .144 | -.030 | -.041 |
| (X4)城市家庭年人均可支配收入/元 | .178 | -.193 | .144 |
| (X5)城市家庭年人均消费性支出/元 | .264 | -.160 | -.138 |
| (X6)社会消费品零售总额/亿元 | .124 | -.024 | .001 |
| (X7)第三产业/亿元 | .200 | -.048 | -.155 |
| (X8)环保投资/亿元 | -.238 | .127 | .641 |
| (X9)全社会固定资产投资/亿元 | .229 | -.015 | -.291 |
| (X10)自然保护区覆盖率/% | -.271 | -.281 | 1.420 |
| (X11)人均公共绿地面积/㎡ | -.093 | .680 | -.687 |
| (X12)建成区绿化覆盖面积/公顷 | -.205 | .677 | -.411 |
| (X13)道路清扫保洁面积/万m2 | .149 | -.074 | .021 |

最终，通过表5-15的因子得分系数矩阵得到因子成分关系式：

**（四）、对于未来十年垃圾总清运量的预测**

对于未来十年垃圾总清运量的预测，我们首先对影响垃圾清运量的十三个自变量进行了因子分析，把这些具有错综复杂关系的变量归结为几个综合因子来进行分析预测。在进行因子分析后，将得到的几个代表因子分别通过RBF神经网络算法和遗传算法+BP神经网络算法这两种方法进行预测[5]。然后对这两种方法得到的预测结果跟2000年—2016年的实际值进行比较，通过误差分析来选出最优的预测方法。最后，再根据这种预测方法计算出2017年—2027年垃圾总清运量的值。具体流程图如图5-4所示：



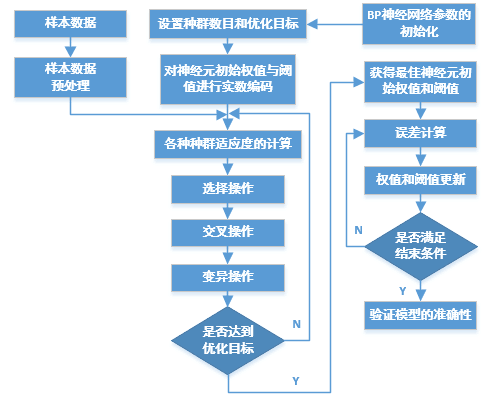
**图5-4 预测流程图**

**RBF神经网络流程图**



**图 5-5 RBF神经网络流程图**

**GA-BP神经网络流程图**



**图 5-6 BP-GA神经网络流程图**

**（2）、影响因子**

经过因子分析后，影响垃圾清运量变化的因子量如表5-16所示：

**表 5-16 因子分析后因子成分表**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 城市生活垃圾清运量（万吨） | F1 | F2 | F3 |
| 2000 | 201.90 | 8388.56 | -3456.37 | -22464.69 |
| 2001 | 219.00 | 9035.44 | -3743.39 | -23429.97 |
| 2002 | 221.10 | 9959.89 | -4007.81 | -26210.56 |
| 2003 | 324.50 | 7750.56 | 5344.74 | -33620.49 |
| 2004 | 346.97 | 8228.36 | 5418.99 | -33320.92 |
| 2005 | 332.90 | 4737.83 | 12960.77 | -32856.49 |
| 2006 | 359.53 | 4955.72 | 12782.85 | -33986.22 |
| 2007 | 406.98 | 5712.01 | 13139.60 | -37243.99 |
| 2008 | 440.69 | 7964.82 | 12192.09 | -39106.85 |
| 2009 | 475.96 | 8469.56 | 12166.54 | -41802.22 |
| 2010 | 481.50 | 9680.40 | 11730.72 | -44341.10 |
| 2011 | 481.82 | 11519.79 | 10266.10 | -43434.69 |
| 2012 | 505.93 | 13264.39 | 9283.88 | -45214.38 |
| 2013 | 522.00 | 15863.84 | 7178.19 | -51308.13 |
| 2014 | 541.14 | 16126.04 | 7990.67 | -52715.37 |
| 2015 | 574.83 | 18640.66 | 6290.32 | -57542.60 |
| 2016 | 584.74 | 21963.08 | 3203.13 | -63355.19 |
| 2017 |  | 24422.57 | 1246.64 | -66450.26 |
| 2018 |  | 27451.08 | -1425.01 | -70859.74 |
| 2019 |  | 30727.70 | -4405.26 | -75497.73 |
| 2020 |  | 34127.66 | -7648.09 | -80356.75 |
| 2021 |  | 37742.32 | -11062.93 | -85590.75 |
| 2022 |  | 41597.91 | -14826.89 | -91001.28 |
| 2023 |  | 45672.06 | -18877.57 | -96650.55 |
| 2024 |  | 49969.25 | -23215.17 | -102541.67 |
| 2025 |  | 54481.01 | -27839.04 | -108671.60 |
| 2026 |  | 59214.53 | -32749.93 | -115041.28 |
| 2027 |  | 64160.07 | -37946.23 | -121649.60 |

**（3）、预测结果**

通过以上参数取值方法对各参数取值进行限定并带入模型中进行

检验。最常用的检验方法为历史仿真检验，即将仿真值与历史值进行比较，观察模型的行为是否具有一致性。若模型仿真值与历史值偏差较大，则需对模型参数进行调整，甚至改变模型的结构，直至检验合格为止。

运用检验合格的RBF神经网络和遗传算法+BP神经网络算法对2000年到2016年的生活垃圾清运量进行预测，预测结果如表5-13、图5-4和图5-5所示。

**RBF神经网络模型预测检验**



**图5-7 2000-2016年 RBF神经网络对于垃圾清运量的预测**



**图5-8 2000-2016年 RBF神经网络对于垃圾清运量预测的相对误差**

**GA-BP神经网络模型预测检验**



**图5-9 2000-2016年 GA-BP神经网络对于垃圾清运量的预测**



**图5-10 2000-2016年 GA-BP神经网络对于垃圾清运量预测的误差**

显而易见，GA-BP神经网络可以更好的预测，其结果如图5-11所示：



**图5-11 2000-2027年 GA-BP神经网络对于垃圾清运量的预测**

具体数值如表5-17所示：

**表5-17 2000-2027年 GA-BP神经网络对于垃圾清运量的预测**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 城市生活垃圾清运量（万吨） | F1 | F2 | F3 |
| 2017 | 593.30 | 24422.57 | 1246.64 | -66450.26 |
| 2018 | 604.16 | 27451.08 | -1425.01 | -70859.74 |
| 2019 | 613.59 | 30727.70 | -4405.26 | -75497.73 |
| 2020 | 621.31 | 34127.66 | -7648.09 | -80356.75 |
| 2021 | 626.59 | 37742.32 | -11062.93 | -85590.75 |
| 2022 | 629.08 | 41597.91 | -14826.89 | -91001.28 |
| 2023 | 645.41 | 45672.06 | -18877.57 | -96650.55 |
| 2024 | 684.22 | 49969.25 | -23215.17 | -102541.67 |
| 2025 | 699.82 | 54481.01 | -27839.04 | -108671.60 |
| 2026 | 714.55 | 59214.53 | -32749.93 | -115041.28 |
| 2027 | 729.49 | 64160.07 | -37946.23 | -121649.60 |

### 5.2.3未来十年深圳市垃圾处理社会总成本的预测

结合生活垃圾处理社会总成本的计算模型，将预测到的未来十年

的垃圾总清运量带入模型求解，得到未来十年内深圳市垃圾处理各模式下社会总成本，如表5-18所示。

**表 5-18深圳市各模式垃圾处理社会总成本（单位/万元）**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 各年社会总成本 | 现状模式 | 模式一 | 模式二 | 模式三 |
| 2017年社会总成本 | 308742 | 357092 | 414230 | 384828 |
| 2018年社会总成本 | 308567 | 362957 | 417095 | 389693 |
| 2019年社会总成本 | 307241 | 368822 | 419960 | 394558 |
| 2020年社会总成本 | 307935 | 374687 | 422825 | 399423 |
| 2021年社会总成本 | 308619 | 380552 | 425690 | 404288 |
| 2022年社会总成本 | 309303 | 386417 | 428555 | 409153 |
| 2023年社会总成本 | 309997 | 392282 | 431420 | 414018 |
| 2024年社会总成本 | 310671 | 398147 | 434285 | 418883 |
| 2025年社会总成本 | 311365 | 404012 | 437150 | 423748 |
| 2026年社会总成本 | 312059 | 409877 | 440015 | 428613 |
| 2027年社会总成本 | 312733 | 415742 | 442880 | 433478 |

## 未来十年内各模式下垃圾处理各分项成本比例的变化趋势

### 5.3.1未来十年内垃圾的含水率和湿基热值的预测

由附件中的数据整理可以得到2010年~2015年内深圳市垃圾的含

水率和湿基热值，如表5-19所示。

**表 5-19 2010年~2015年内深圳市垃圾的含水率和湿基热值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 平均含水率 | 湿基高位热值 | | 湿基低位热值 |
| 2010年 | 52.10 | | 7724.67 | 6319.76 |
| 2011年 | 57.26 | | 7877.81 | 6230.87 |
| 2012年 | 58.52 | | 7340.46 | 5357.56 |
| 2013年 | 62.08 | | 7042.45 | 5033.78 |
| 2014年 | 63.39 | | 6488.68 | 4450.53 |
| 2015年 | 57.32 | | 7651.25 | 5550.95 |

通过时间序列算法预测到未来十年内深圳市垃圾的含水率和湿基

热值如表5-20所示。

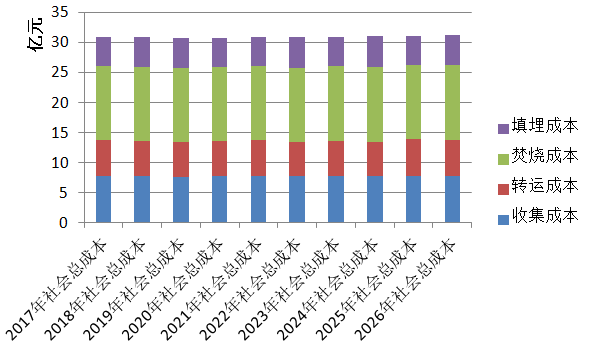
**表 5-20 2016年~2027年内深圳市垃圾的含水率和湿基热值**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 年份 | 平均含水率 | 湿基高位热值 | | 湿基低位热值 |
| 2016年 | 60.54 | | 7165.40 | 4933.30 |
| 2017年 | 61.02 | | 7128.90 | 4779.70 |
| 2018年 | 61.50 | | 7094.00 | 4618.50 |
| 2019年 | 61.99 | | 7060.80 | 4449.70 |
| 2020年 | 62.48 | | 7029.20 | 4273.30 |
| 2021年 | 62.97 | | 6999.20 | 4089.30 |
| 2022年 | 63.47 | | 6970.90 | 3897.70 |
| 2023年 | 63.97 | | 6944.20 | 3698.50 |
| 2024年 | 64.47 | | 6919.10 | 3491.70 |
| 2025年 | 64.98 | | 6895.70 | 3277.30 |
| 2026年 | 65.49 | | 6873.90 | 3055.30 |
| 2027年 | 66.01 | | 6853.70 | 2825.70 |

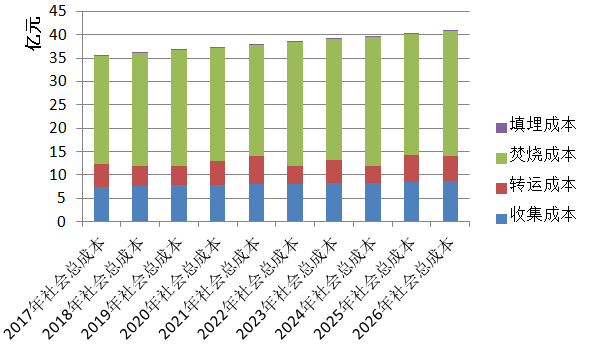
### 5.3.2各模式下各分项成本比例的变化趋势

结合预测到的未来十年内垃圾的含水率和湿基热值，分析未来十

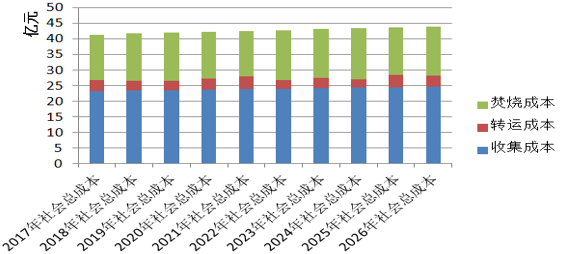
年内深圳市垃圾干垃圾和湿垃圾的成分比值。另外，通过这些垃圾的含水率和湿基热值，对各个模式下焚烧成本和湿垃圾生物处理的成本进行重新核算。最后，将各分项的成本汇总在一起得到了各模式下各分项成本比例的变化趋势，如图5-12、图5-13、图5-14和图5-15所示。



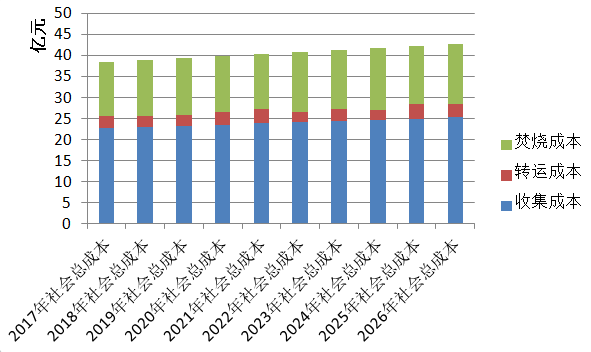
**图 5-12 现状模式下2017-2026年垃圾处理成本各分项比例变化图**



**图 5-13 模式一下2017-2026年垃圾处理成本各分项比例变化图**



**图 5-14 模式二下2017-2026年垃圾处理成本各分项比例变化图**



**图 5-15 模式三下2017-2026年垃圾处理成本各分项比例变化图**

# 六、问题三



## 远期成本效益分析设计深圳市生活垃圾分类制度建设的优选模式

### 6.1.1解题思路概述

本题采用远期**成本效益分析**的发方法中的成本效益比率（BCR=B/C）进行比较。其中，成本取第二问预测近十年的（2017-2026）各模式城市垃圾处理社会总成本均值，作为远期成本。由于效益为模糊的概念，本题采用**二级综合模糊评价**的方法，根据最大隶属度原则得出其估计值。然后对远期成本做归一化处理后，得出各模式成本效益比率，并根据其成本效益比率大小选择最优垃圾处理模式。解题思路流程图如下：



**图6-1问题三解题思路流程图**

1. **成本效益法概念**

成本-效益分析是经济学的重要内容之一，任何复杂高深的经济学问题均可归结到成本与效益分析这一基础上来。在进行成本—效益分析之前，必须首先明确成本和效益这两个基本概念。所谓成本，就是为了有效实现目标而必须付出的代价。而效益则是代价付出后所换来的有益成果，即对目标的实现程度。成本—效益分析就是建立在对效益与成本的比较之上。

一般来说，对成本和效益进行45比较可以采取两种办法：一种是净折现值，另一种则是成本效益比率[14]。用公式可以将二者表示为：NPV =B–C，BCR =B/C。

1. **模糊综合评判介绍**

模糊综合评价法是一种基于[模糊数学](http://baike.baidu.com/item/%E6%A8%A1%E7%B3%8A%E6%95%B0%E5%AD%A6)的综合评价方法，是根据模糊数学的隶属度理论把[定性评价](http://baike.baidu.com/item/%E5%AE%9A%E6%80%A7%E8%AF%84%E4%BB%B7)转化为定量评价，即用模糊数学对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价[15-16]。它具有结果清晰，系统性强的特点，能较好地解决模糊的、难以量化的问题，适合各种非确定性问题的解决。

### 6.1.2数据处理

**第一步**，取各模式近十年（2017-2026）年深圳市生活垃圾处理社会总成本预测值均值分别为现状模式，模式一，模式二，模式三的预测值均值；

**第二步**，基于目的明确、代表性强、可行性高和因时制宜的等原则，建立城市生活垃圾处理模式评价的二级指标体系，如下图所示：

**图6-2垃圾处理效益评价指标体系**

并参考相关文献[1]，设置评价各因素权重值：一级指标权重A=（0.1428，0.0747, 0.5602, 0.2223），二级指标权重；

**第三步**，设置评价集V =(优, 良, 中, 差), 打分为(4 , 3 , 2 , 1)，根据评判因素对各种垃圾处理方法进行专家评判，结果如表6-1所示：

**表6-1 垃圾处理评价体系考核表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 评价指标 | 现状 | 模式1 | 模式二 | 模式三 |
| 经济指标 | 工程投资 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| 单位运营费用 | 4 | 3 | 1 | 3 |
| 投资利润率 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| 土地占用 | 2 | 4 | 4 | 4 |
| 技术指标 | 技术可靠性 | 4 | 2 | 2 | 3 |
| 选址要求 | 4 | 2 | 2 | 4 |
| 处理对象要求 | 4 | 2 | 2 | 3 |
| 运营管理要求 | 4 | 3 | 2 | 3 |
| 环境指标 | 直接污染 | 1 | 3 | 4 | 3 |
| 二次污染 | 2 | 3 | 4 | 4 |
| 安全评估 | 1 | 3 | 4 | 3 |
| 社会指标 | 资源化评估 | 2 | 3 | 4 | 4 |
| 减量化效果 | 1 | 3 | 3 | 4 |
| 公众满意度 | 2 | 3 | 3 | 3 |

为便于计算，对每一个评判因素所取指标值的平均值作为标准值，并作标准化，其结果如表6-2所示：

**表6-2 各种垃圾处理模式的评价指标标准化结果**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 评价指标 | 现状 | 模式1 | 模式二 | 模式三 |
| 经济指标 | 工程投资 | 1.333 | 1.000 | 0.667 | 1.000 |
| 单位运营费用 | 1.455 | 1.091 | 0.364 | 1.091 |
| 投资利润率 | 0.667 | 1.000 | 1.000 | 1.333 |
| 土地占用 | 0.571 | 1.143 | 1.143 | 1.143 |
| 技术指标 | 技术可靠性 | 1.455 | 0.727 | 0.727 | 1.091 |
| 选址要求 | 1.333 | 0.667 | 0.667 | 1.333 |
| 处理对象要求 | 1.333 | 0.000 | 0.667 | 1.000 |
| 运营管理要求 | 1.333 | 1.000 | 0.667 | 1.000 |
| 环境指标 | 直接污染 | 0.364 | 1.091 | 1.455 | 1.091 |
| 二次污染 | 0.615 | 0.923 | 1.231 | 1.231 |
| 安全评估 | 0.364 | 1.091 | 1.455 | 1.091 |
| 社会指标 | 资源化评估 | 0.615 | 0.923 | 1.231 | 1.231 |
| 减量化效果 | 0.364 | 1.091 | 1.091 | 1.455 |
| 公众满意度 | 0.727 | 1.091 | 1.091 | 1.091 |

**第四步**，运用指派法选择梯形型分布，并根据不同的指标分别建立隶属度函数，带入数据后根据函数变化快慢，修缮后如下：



并分别计算出各模式下各指标对于四个等级的隶属度矩阵，并分别与对应二级指标权重相乘得 ，然后构成各垃圾处理模式的二级评判矩阵，其中



同理得，然后根据经济、技术、环境和社会指标的权重A=（0.1428，0.0747, 0.5602, 0.2223），可得到总的评价结果 ： 。并根据最大隶属度原则，取行向量  中最大的为 。

**第五步**，根据成本效益比分析法，比较现状模式、模式一、模式二、模式三分别为：，显然在远期成本效益的下的深圳市垃圾处理模式二得分最高，为最优模式。

**6.2 决策和建议**

**6.2.1深圳市生活垃圾基础数据调查统计及预测评价**

**（一）2017-2026年垃圾清运量预测**

由图5-4可以看出现有垃圾处理设施不足以满足垃圾日产日清的要求，应根据垃圾处理设施的实际情况进行升级改在。

**（二）垃圾含水率、湿基低位热值和湿基高位热值**

有表5-15和表5-16可以看出，未来10年，垃圾含水率呈现上升趋势，湿基低位热值和湿基高位热值为下降趋势，会加剧垃圾燃烧过程中的有害成分含量，也会对垃圾的末端收集带来压力，产生新的污染物，产生新的二次污染。

**（三）各垃圾处理模式（现状模式及模式一、二、三）的社会总成本预测（2017-2016）**

由图5-14可以看出，但从经济角度出发，现状模式处理成本最低，模式一采用混合收集直接焚烧的粗放处理方式，节省了处理费用。模式三采用混合收集加末端处理方式，为垃圾分类收集的过度模式，处理成本低于采用源头分类收集的处理模式二。但从成本效益角度分析，考虑环境污染、社会指标和回收收益等，模式二效果最优。

**6.2.2改进措施及建议**

由以上基础调查数据统计及预测评价和远期成本效益分析可知，对生活垃圾进行分类收集是很有必要的。建立一整套垃圾分类的制度和实施方法，引导并规范垃圾分类，需要政府、企业和广大公众的配合努力。鉴于产生垃圾的对象主要为居民和餐饮企业等（这里统一用居民代表），采用博弈论的方法，剖析居民对垃圾分类必要性与倾向性的矛盾，为优化垃圾分类实施方案，找到解决垃圾处理问题办法，并提出改进措施及建议。

1. **博弈理论**

博弈论是研究决策主体在给定信息结构下如何决策以最大化自己的效用，以及不同决策主体之间决策的均衡问题的理论。从合作关系可分为合作博弈理论和非合作博弈理论。前者主要强调的是团体理性；而后者主要研究人们在利益相互影响的局势中，如何选择策略使得自己的收益最大，强调的是个人理性。从参与人行动的先后顺序，可分为静态博弈和动态博弈。静态博弈指，博弈中参与人同时选择行动或虽非同时但后行动者并不知道前行动者采取了何种具体行动；动态博弈指，参与人的行动有先有后，且后行动者能够观察到先行动者所选择的行动。从参与人对其完全信息静态博弈模型的建立他参与的特征，战略空间及支付函数的知识，博弈可划分为完全信息博弈和不完全信息博弈。完全信息指每一个参与人对所有参与人的特征，战略空间及支付函数有准确的知识；否则，就是不完全信息博弈[17-18]。

1. **建立完全信息静态分析模型**

为了建立模型，建立如下假设：①完全理性人假设；②同等条件下提供分类和不分类两种垃圾回收装置；③政府和企业不进行管制和干预。

设一生活小区，每天有N个人需要处理生活垃圾，且这N个体对其出行行为（是否对垃圾分类）不做要求。现将这N个人分为2个行为群体P和Q，从而2个群体间存在4个战略组合，其收益分析为：①双方成员均对垃圾不分类处理，则双方各自收益A；②一方选择对垃圾不分类处理，另一方选择对垃圾分类处理，则选择对垃圾不分类处理的一方将获得超额收益B，而对垃圾分类处理的一方则遭受损失（产生二次污染，资源浪费，增加末端处理成本等）获极低的收益C；③双方成员均选择对垃圾分类处理，则两者均获得收益D。可令C>A>D>B。这时A、P、Q两方博弈构成完全信息静态博弈，其博弈收益矩阵如表1所示。

表1 自由选择下的博弈收益矩阵

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 群体Q | 群体P | |
| 垃圾不分类处理 | 垃圾分类处理 |
| 垃圾不分类处理 | (A,A) | (B,C) |
| 垃圾分类处理 | (C,B) | (D,D) |

利用划线法，可以得到最佳策略组合（垃圾不分类处理，垃圾不分类处理），即博弈惟一的纳什均衡解，其得益组合为（A，A）。

然而，均选择垃圾不分类处理必会导致二次污染，资源浪费，增加末端处理成本等，从个体利益出发的行为最终不一定能够实现个体的最大利益，即个体最终利益不是理想中的D。

如果允许博弈中存在一种“有约束力的协议”，使得博弈方为了群体利益而让度自己的利益，那么个体利益和集体利益之间的矛盾就可以被克服，从而使博弈方按照集体理性决策和行为成为可能。

在这里，能够提供这种有广泛“约束力协议”的是政府。在政府参与下的交通博弈转化为如下的博弈，其收益矩阵见表2。

表2 政府参与下的博弈收益矩阵

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 群体Q | 群体P | |
| 垃圾不分类处理 | 垃圾分类处理 |
| 垃圾不分类处理 | (A-a, A-a) | (B-d, C+a) |
| 垃圾分类处理 | (C+a, B-d) | (D+d, D+d) |

注：a和d分别为政府对两种选择行为的管制和激励效应。

从表2可以看到，群体P、Q中的理性人在选择时，均会选择垃圾分类处理，即垃圾分类处理成为理性个体在政府管制下新的占优选择策略。因此，它的惟一的纳什均衡解为：（垃圾分类处理，垃圾分类处理），其均衡得益组合为：（D +d，D +d）。

1. **基于完全信息静态博弈的生活垃圾处理改进措施及建议**

通过以上博弈分析表明：政府针对居民生活垃圾分类处理有效激励和管制可使理性人自发地选择使远期成本效益最优的选择战略，这不仅兼顾了个人与集体的理性，而且构成了综合社会、经济、环境和技术指标所希望的纳什均衡，有利于城市的可持续发展，其理论的相应具体实践措施如下。

**1）建立和完善垃圾分类收集的专门法规（提高d和a值）**

通过建立专门规范，明确垃圾分类责任分配，引导推进深圳市垃圾分类的实施。目前深圳市生活垃圾管理的法规和标准还不够完善，应尽快修订相关法规，完善相关制度。

**2）采取垃圾分类试点等措施（间接提高D值）**

率先在有条件和代表性高的地区分类收集和处理，进而逐步推进并不断在实际工作中总结经验，完善分类收集流程。

**3）“政企分开”优化垃圾管理体制，加快市场化运作（提高D值）**

转变政府职能，政府主要参与政策制定和监督管理工作，而垃圾清运处理工作则由社会相关企业承包，自负盈亏， 市场竞争机制，不仅优化现有垃圾处理方式，还有助于提高垃圾处理效率，减少政府负担。

**4）完善垃圾分类收集和处理的设施，使之人性化和便捷化。（提高D值，间接降低A值）**

升级或使用人性化、便捷化的垃圾分类收集设施，使垃圾分类真正成为居民最优选择，从而转变其传统垃圾处理方式，对原有垃圾设施进行升级改造，从硬件上提升深圳市垃圾处理水平。

**5）控制垃圾源头，实行垃圾按量收费（提高D值，降低A值）**

在全市推广阶段，实行企事业、居民按垃圾产生量收费的办法，真正从源头控制垃圾产生数量，达到减量和资源回收利用的目的。

**6）加快研发垃圾再生利用综合处理技术，支持再生资源收购的企业发展（间接提高D值）**

除加大综合处理技术的应用外，支持和培养一批再生资源收购企业，以提高垃圾回收率，降低垃圾污染物量，建立一整套再回收利用的链条。

**7）加强垃圾分类宣传教育，提高市民参与意识（间接提高D值）**

采用多种媒介进行宣传，利用奖励补贴政策，对按要求进行分类的居民家庭和单位给予必要的奖励。开展创建和考评活动。开展绿色单位和垃圾分类达标示范小区的创建活动，强化市民的分类收集意识，对开展生活垃圾分类收集工作的小区进行考核验收，授予达标示范称号。建立逐级考核机制，按照知晓率、参与率、正确投放率、减量率、回收率、厨余垃圾收集率等指标评价出分类收集工作的成绩，进行必要的奖惩。

**参考文献**

[1]张英民, 尚晓博, 李开明等. 城市生活垃圾处理技术现状与管理对策[J]. 生态环境学报, 2011, 20(2): 389-401.

[2]宋国君, 杜倩倩, 马本. 城市生活垃圾填埋处置社会成本核算方法与应用[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(8): 57-63.

[3]Assamoi B, Lawryshyn A. The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting for waste diversion[J]. Waste Management, 2012, 32(5): 1019-1030.

[4]Keith Knox, Knox Associates[R]. Sustainable Landfill in the UK, 2000, 202.

[5]郭晓梅. 环境管理会计研究——将环境因素纳入管理决策中[M]. 厦门大学出版社, 2002.

[6]杨先海, 褚金奎, 吕传毅. 基于BP神经网络模型的城市生活垃圾产生量预测研究[J]. 西安理工大学学报, 2003, 19(4): 335-339.

[7]陈金发, 宁平, 侯明明. 城市生活垃圾产量预测模型[J]. 再生资源研究, 2003, 20(6): 25-27.

[8]薛祯祯. 基于可见光辐射的垃圾焚烧炉火焰温度检测与燃烧诊断[D]. 中国矿业大学, 2016.

[9]宁星星. 大型垃圾焚烧炉低氮燃烧优化以及SNCR数值模拟研究[D]. 华南理工大学, 2016.

[10]李坚. 炉排式垃圾焚烧炉燃烧与SNCR系统优化设计的模拟研究[D]. 华东理工大学, 2015.

[11]周志成. 基于图像处理和人工智能的垃圾焚烧炉燃烧状态诊断研究[D]. 东南大学, 2015.

[12]华祥贵. 垃圾焚烧炉垃圾自动燃烧模糊控制研究[D]. 重庆大学, 2008.

[13]陶怀志. 小型立式垃圾焚烧炉故障诊断与过程控制研究[D]. 北京化工大学, 2008.

[14]张彦蕊, 黄冬梅. 基于AHP和模糊综合评价的生活垃圾处理模式评价[J]. 数学的实践与认识, 2014, 44(3): 55-60.

[15]黄飞, 陶进庆. 采用模糊数学法对城市生活垃圾处理方法进行综合评价[J]. 环境工程, 2000, 18(6): 54-56.

[16]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]. 环境卫生与工程, 2012, 20(1): 20-23.

[17] 张维迎. 博弈论和信息经济学[M]. 上海: 上海三联书店, 上海人民出版社, 1996.

[18] 谢识予. 经济博弈论[M]. 上海: 复旦大学出版社，2002.

# 附录

一、RBF程序代码

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

程序：RBF神经网络预测深圳市未来十年的垃圾清运量

编写人员：刘隼，孙健，山岩

编写日期：2017.4.29

程序功能：利用RBF神经网络的预测功能

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

% % % % % % % % % % % % % % % %

% % 清空命令行释放缓存 % %

% % % % % % % % % % % % % % % %

clc;

clear;

% % % % % % % % % % % % % % % %

% % 下载输入输出数据 % %

% % % % % % % % % % % % % % % %

a=load ('szz.txt') ;

% % % % % % % % % % % % % % % %

% % 找出训练数据和预测数据 % %

% % % % % % % % % % % % % % % %

input\_train=a(1:10,[3:15])';

output\_train=a(1:10,2)';

input\_test=a(11,[3:15])';

output\_test=a(11,2)';

% % % % % % % % % % % % % % % %

% % 选连样本输入输出数据归一化% %

% % % % % % % % % % % % % % % %

[inputn,inputps]=mapminmax(input\_train);

[outputn,outputps]=mapminmax(output\_train);

% % % % % % % % % % % % % % % %

% % RBF网络训练%初始化网络结构% %

% % % % % % % % % % % % % % % %

net=newrb(inputn,outputn,0.3,40);

% % % % % % % % % % % % % % % %

% % 预测数据归一化 % %

% % % % % % % % % % % % % % % %

inputn\_test=mapminmax('apply',input\_test,inputps);

% % % % % % % % % % % % % % % %

% % 网络预测输 % %

% % % % % % % % % % % % % % % %

an=sim(net,inputn\_test);

% % % % % % % % % % % % % % % %

% % 网络输出反归一化 % %

% % % % % % % % % % % % % % % %

RBFoutput=mapminmax('reverse',an,outputps);

figure(1)

plot(RBFoutput,':og')

hold on

plot(output\_test,'-\*');

legend('预测输出','期望输出')

title('RBF网络预测输出','fontsize',12)

ylabel('函数输出','fontsize',12)

xlabel('样本','fontsize',12)

%预测误差

error=RBFoutput-output\_test;

figure(2)

plot(error,'-\*')

title('RBF网络预测误差','fontsize',12)

ylabel('误差','fontsize',12)

xlabel('样本','fontsize',12)

figure(3)

plot((output\_test-RBFoutput)./RBFoutput,'-\*');

title('神经网络预测误差百分比')

二、GA-BP神经网络程序

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

程序：GA-BP神经网络

编写人员：刘隼，孙健，山岩

编写日期：2017.4.29

程序功能：利用利用GA-BP神经网络进行预测

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

clc% 清空环境变量

clear% 清空环境变量

tic;

[shuju,textdata]=xlsread('bp垃圾填埋数据预测.xlsx','sheet2');%读取数据

inputnum=3;%节点个数

outputnum=1;

for hiddennum=4:4 %隐含层层数

input\_train=shuju(1:17,3:5)'; %训练数据和预测数据

input\_test=shuju(1:17,3:5)';

output\_train=shuju(1:17,2)';

output\_test=shuju(1:17,2)';

[inputn,inputps]=mapminmax(input\_train);%选连样本输入输出数据归一化

[outputn,outputps]=mapminmax(output\_train);

net=newff(inputn,outputn,hiddennum,{'tansig','purelin'},'trainlm');%构建网络

%% 遗传算法参数初始化

maxgen=50; %进化代数，即迭代次数

sizepop=10; %种群规模

pcross=[0.4]; %交叉概率选择，0和1之间

pmutation=[0.2]; %变异概率选择，0和1之间

numsum=inputnum\*hiddennum+hiddennum+hiddennum\*outputnum+outputnum;%节点总数

lenchrom=ones(1,numsum);

bound=[-3\*ones(numsum,1) 3\*ones(numsum,1)]; %数据范围

%------------------------------------------------------种群初始化---------------------------------------------

individuals=struct('fitness',zeros(1,sizepop), 'chrom',[]); %将种群信息定义为一个结构体

avgfitness=[]; %每一代种群的平均适应度

bestfitness=[]; %每一代种群的最佳适应度

bestchrom=[]; %适应度最好的染色体

%初始化种群

for i=1:sizepop

%随机产生一个种群

individuals.chrom(i,:)=Code(lenchrom,bound); %编码（binary和grey的编码结果为一个实数，float的编码结果为一个实数向量）

x=individuals.chrom(i,:);

individuals.fitness(i)=fun(x,inputnum,hiddennum,outputnum,net,inputn,outputn); %计算适应度染色体的适应度

end

%找最好的染色体

[bestfitness bestindex]=min(individuals.fitness);

bestchrom=individuals.chrom(bestindex,:); %最好的染色体

avgfitness=sum(individuals.fitness)/sizepop; %染色体的平均适应度

% 记录每一代进化中最好的适应度和平均适应度

trace=[avgfitness bestfitness];

%% 迭代求解最佳初始阀值和权值

% 进化开始

for i=1:maxgen% 选择

individuals=Select(individuals,sizepop);

avgfitness=sum(individuals.fitness)/sizepop;%交individuals.chrom=Cross(pcross,lenchrom,individuals.chrom,sizepop,bound); individuals.chrom=Mutation(pmutation,lenchrom,individuals.chrom,sizepop,i,maxgen,bound); % 变异

for j=1:sizepop % 计算适应度

x=individuals.chrom(j,:); %解码

individuals.fitness(j)=fun(x,inputnum,hiddennum,outputnum,net,inputn,outputn);

end

%找到最小和最大适应度的染色体及它们在种群中的位置

[newbestfitness,newbestindex]=min(individuals.fitness);

[worestfitness,worestindex]=max(individuals.fitness);

% 代替上一次进化中最好的染色体

if bestfitness>newbestfitness

bestfitness=newbestfitness;

bestchrom=individuals.chrom(newbestindex,:);

end

individuals.chrom(worestindex,:)=bestchrom;

individuals.fitness(worestindex)=bestfitness;

avgfitness=sum(individuals.fitness)/sizepop;

trace=[trace;avgfitness bestfitness]; %记录每一代进化中最好的适应度和平均适应度

end

%% 遗传算法结果分析

figure(1)

[r c]=size(trace);

plot([1:r]',trace(:,2),'b--');

title(['适应度曲线 ' '终止代数＝' num2str(maxgen)]);

xlabel('进化代数');ylabel('适应度');

legend('平均适应度','最佳适应度');

disp('适应度 变量');

x=bestchrom;

%% 把最优初始阀值权值赋予网络预测

% %用遗传算法优化的BP网络进行值预测

w1=x(1:inputnum\*hiddennum);

B1=x(inputnum\*hiddennum+1:inputnum\*hiddennum+hiddennum);

w2=x(inputnum\*hiddennum+hiddennum+1:inputnum\*hiddennum+hiddennum+hiddennum\*outputnum);

B2=x(inputnum\*hiddennum+hiddennum+hiddennum\*outputnum+1:inputnum\*hiddennum+hiddennum+hiddennum\*outputnum+outputnum);

net.iw{1,1}=reshape(w1,hiddennum,inputnum);

net.lw{2,1}=reshape(w2,outputnum,hiddennum);

net.b{1}=reshape(B1,hiddennum,1);

net.b{2}=B2;

%% BP网络训练

%网络进化参数

net.trainParam.epochs=10000;

net.trainParam.lr=0.1;

net.trainParam.goal=0.0005;

%网络训练

[net,per2]=train(net,inputn,outputn);

%% BP网络预测

%数据归一化

inputn\_test=mapminmax('apply',input\_test,inputps);

an=sim(net,inputn\_test);

test\_simu=mapminmax('reverse',an,outputps);

error=test\_simu-output\_test;

%画图

figure(1)%画垃圾清运量

plot(shuju(1:end,1),shuju(1:end,2),'r-','LineWidth',1);hold on;

plot(shuju(1:17,1),test\_simu,'g-','LineWidth',1);hold on;

plot(shuju(1:17,1),shuju(1:17,2),'b\*','MarkerSize',4,'LineWidth',2);hold on;

plot(shuju(18:27,1),shuju(18:27,2),'k+','MarkerSize',4,'LineWidth',2);hold on;

text(2016,shuju(17,2),'此点后为估算值');

title('2000-2027年GA-BP垃圾清运量趋势图','FontSize',30);

xlabel('年份(年)','FontSize',20);

ylabel('垃圾清运量（万吨）','FontSize',20);

legend('趋势折线','2000-2016年GA-BP神经网络估算趋势图','2000-2016年垃圾清运量真实值','2017-2027年垃圾清运量估算值','Location','NorthWest');

axis([shuju(1,1),shuju(end,1),0,1000]);

set(gca,'xtick', shuju(:,1));

box off;

grid off;

figure(3)%画2000年-2016年垃圾清运量趋势图

plot(shuju(1:17,1),output\_test,'r','MarkerSize',4,'LineWidth',2);hold on;

plot(shuju(1:17,1),test\_simu,'g','LineWidth',1);hold on;

plot(shuju(1:17,1),output\_test,'b\*','MarkerSize',4,'LineWidth',2);hold on;

plot(shuju(1:17,1),test\_simu,'k+','MarkerSize',4,'LineWidth',2);hold on;

title('2000-2016年GA-BP神经网络垃圾清运量趋势图','FontSize',30);

xlabel('年份(年)','FontSize',20);

ylabel('垃圾清运量（万吨）','FontSize',20);

legend('趋势折线','2000-2016年GA-BP神经网络估算趋势图','2000-2016年垃圾清运量真实值','2017-2027年垃圾清运量估算值','Location','NorthWest');

axis([shuju(1,1),shuju(17,1),0,1000]);

set(gca,'xtick', shuju(:,1));

box off;

grid off;

figure(2)%画相对误差

c=shuju(1:17,2)'-test\_simu;

b=c'./shuju(1:17,2)

plot(shuju(1:17,1),b,'k-','LineWidth',1);hold on;

plot(shuju(1:17,1),b,'r+','LineWidth',1);hold on;

title('GA-BP相对误差图','FontSize',30);

xlabel('年份(年)','FontSize',20);

ylabel('%','FontSize',20);

legend('GA-BP相对误差趋势','相对误差值','Location','Northeast');

axis([shuju(1,1),shuju(17,1),-0.2,0.1]);

set(gca,'xtick', shuju(:,1));

box off;

grid off;

end

toc;

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

子程序1：Code

功能：本函数将变量编码成染色体，用于随机初始化一个种群

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

function ret=Code(lenchrom,bound)

%本函数将变量编码成染色体，用于随机初始化一个种群

% lenchrom input : 染色体长度

% bound input : 变量的取值范围

% ret output: 染色体的编码值

flag=0;

while flag==0

pick=rand(1,length(lenchrom));

ret=bound(:,1)'+(bound(:,2)-bound(:,1))'.\*pick; %线性插值，编码结果以实数向量存入ret中

flag=test(lenchrom,bound,ret); %检验染色体的可行性

end

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

子程序2：Cross

功能：本函数完成交叉操作

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

function ret=Cross(pcross,lenchrom,chrom,sizepop,bound)

%本函数完成交叉操作

% pcorss input : 交叉概率

% lenchrom input : 染色体的长度

% chrom input : 染色体群

% sizepop input : 种群规模

% ret output : 交叉后的染色体

for i=1:sizepop %每一轮for循环中，可能会进行一次交叉操作，染色体是随机选择的，交叉位置也是随机选择的，%但该轮for循环中是否进行交叉操作则由交叉概率决定（continue控制）

% 随机选择两个染色体进行交叉

pick=rand(1,2);

while prod(pick)==0

pick=rand(1,2);

end

index=ceil(pick.\*sizepop);

% 交叉概率决定是否进行交叉

pick=rand;

while pick==0

pick=rand;

end

if pick>pcross

continue;

end

flag=0;

while flag==0

% 随机选择交叉位

pick=rand;

while pick==0

pick=rand;

end

pos=ceil(pick.\*sum(lenchrom)); %随机选择进行交叉的位置，即选择第几个变量进行交叉，注意：两个染色体交叉的位置相同

pick=rand; %交叉开始

v1=chrom(index(1),pos);

v2=chrom(index(2),pos);

chrom(index(1),pos)=pick\*v2+(1-pick)\*v1;

chrom(index(2),pos)=pick\*v1+(1-pick)\*v2; %交叉结束

flag1=test(lenchrom,bound,chrom(index(1),:)); %检验染色体1的可行性

flag2=test(lenchrom,bound,chrom(index(2),:)); %检验染色体2的可行性

if flag1\*flag2==0

flag=0;

else flag=1;

end %如果两个染色体不是都可行，则重新交叉

end

end

ret=chrom;

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

子程序3：Decode

功能：本函数对染色体进行解码

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

function ret=Decode(lenchrom,bound,code,opts)

% 本函数对染色体进行解码

% lenchrom input : 染色体长度

% bound input : 变量取值范围

% code input ：编码值

% opts input : 解码方法标签

% ret output: 染色体的解码值

switch opts

case 'binary' % binary coding

for i=length(lenchrom):-1:1

data(i)=bitand(code,2^lenchrom(i)-1); %并低十位，然后将低十位转换成十进制数存在data(i)里面

code=(code-data(i))/(2^lenchrom(i)); %低十位清零，然后右移十位

end

ret=bound(:,1)'+data./(2.^lenchrom-1).\*(bound(:,2)-bound(:,1))'; %分段解码，以实数向量的形式存入ret中

case 'grey' % grey coding

for i=sum(lenchrom):-1:2

code=bitset(code,i-1,bitxor(bitget(code,i),bitget(code,i-1)));

end

for i=length(lenchrom):-1:1

data(i)=bitand(code,2^lenchrom(i)-1);

code=(code-data(i))/(2^lenchrom(i));

end

ret=bound(:,1)'+data./(2.^lenchrom-1).\*(bound(:,2)-bound(:,1))'; %分段解码，以实数向量的形式存入ret中

case 'float' % float coding

ret=code; %解码结果就是编码结果（实数向量），存入ret中

end

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

子程序4：fun

功能：该函数用来计算适应度值

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

function error = fun(x,inputnum,hiddennum,outputnum,net,inputn,outputn)

%该函数用来计算适应度值

%x input 个体

%inputnum input 输入层节点数

%outputnum input 隐含层节点数

%net input 网络

%inputn input 训练输入数据

%outputn input 训练输出数据

%error output 个体适应度值

%提取

w1=x(1:inputnum\*hiddennum);

B1=x(inputnum\*hiddennum+1:inputnum\*hiddennum+hiddennum);

w2=x(inputnum\*hiddennum+hiddennum+1:inputnum\*hiddennum+hiddennum+hiddennum\*outputnum);

B2=x(inputnum\*hiddennum+hiddennum+hiddennum\*outputnum+1:inputnum\*hiddennum+hiddennum+hiddennum\*outputnum+outputnum);

net=newff(inputn,outputn,hiddennum);

%网络进化参数

net.trainParam.epochs=20;

net.trainParam.lr=0.1;

net.trainParam.goal=0.00001;

net.trainParam.show=100;

net.trainParam.showWindow=0;

%网络权值赋值

net.iw{1,1}=reshape(w1,hiddennum,inputnum);

net.lw{2,1}=reshape(w2,outputnum,hiddennum);

net.b{1}=reshape(B1,hiddennum,1);

net.b{2}=B2;

%网络训练

net=train(net,inputn,outputn);

an=sim(net,inputn);

error=sum(abs(an-outputn));

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

子程序5：Mutation

功能： 本函数完成变异操作

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %% % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

function ret=Mutation(pmutation,lenchrom,chrom,sizepop,num,maxgen,bound)

% 本函数完成变异操作

% pcorss input : 变异概率

% lenchrom input : 染色体长度

% chrom input : 染色体群

% sizepop input : 种群规模

% opts input : 变异方法的选择

% pop input : 当前种群的进化代数和最大的进化代数信息

% bound input : 每个个体的上届和下届

% maxgen input ：最大迭代次数

% num input : 当前迭代次数

% ret output : 变异后的染色体

for i=1:sizepop %每一轮for循环中，可能会进行一次变异操作，染色体是随机选择的，变异位置也是随机选择的，

%但该轮for循环中是否进行变异操作则由变异概率决定（continue控制）

% 随机选择一个染色体进行变异

pick=rand;

while pick==0

pick=rand;

end

index=ceil(pick\*sizepop);

% 变异概率决定该轮循环是否进行变异

pick=rand;

if pick>pmutation

continue;

end

flag=0;

while flag==0

% 变异位置

pick=rand;

while pick==0

pick=rand;

end

pos=ceil(pick\*sum(lenchrom)); %随机选择了染色体变异的位置，即选择了第pos个变量进行变异

pick=rand; %变异开始

fg=(rand\*(1-num/maxgen))^2;

if pick>0.

chrom(i,pos)=chrom(i,pos)+(bound(pos,2)-chrom(i,pos))\*fg;

else

chrom(i,pos)=chrom(i,pos)-(chrom(i,pos)-bound(pos,1))\*fg;

end %变异结束

flag=test(lenchrom,bound,chrom(i,:)); %检验染色体的可行性

end

end

ret=chrom;

三、三次指数时间序列法

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

程序：三次指数时间序列法

编写人员：刘隼，孙健，山岩

编写日期：2017.4.29

程序功能：利用三次指数时间序列法估计值

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

clc,clear;

yt=load('shijishuju.txt');

n=length(yt);alpha=0.3;st0=mean(yt(1:3));

st1(1)=alpha\*yt(1)+(1-alpha)\*st0;

st2(1)=alpha\*st1(1)+(1-alpha)\*st0;

st3(1)=alpha\*st2(1)+(1-alpha)\*st0;

for i=2:n

st1(i)=alpha\*yt(i)+(1-alpha)\*st1(i-1);

st2(i)=alpha\*st1(i)+(1-alpha)\*st2(i-1);

st3(i)=alpha\*st2(i)+(1-alpha)\*st3(i-1);

end

xlswrite('shuju.xls',[st1',st2',st3'])

at=3\*st1-3\*st2+st3;

bt=0.5\*alpha/(1-alpha)^2\*((6-5\*alpha)\*st1-2\*(5-4\*alpha)\*st2+(4-3\*alpha)\*st3);

ct=0.5\*alpha^2/(1-alpha)^2\*(st1-2\*st2+st3);

yhat=at+bt+ct;

xlswrite('shuju.xls',yhat','sheet1','D2')

plot(1:n,yt,'D',2:n,yhat(1:end-1),'\*')

legend('shijizhi','yucz',2)

xishu=[ct(end),bt(end),at(end),at(end)];

yhat1990=polyval(xishu,2);

yhat(end)