

# 深圳市生活垃圾处理社会总成本分析

胡平舸 沈贵宝 李 璐 周广瑜

(山东大学 济南 250101)

## 摘要

随着深圳城市化水平越来越高,垃圾分类处理已经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。

本文基于深圳市生活垃圾处理的情况,分别建立了垃圾焚烧、垃圾填埋的成本分析模型与风险分析模型,在计算成本的过程中计入了政府投入成本、环境污染治理成本以及居民健康成本。

首先对深圳未来垃圾量进行预测,由于深圳人口规模很大程度上取决于依赖经济水平的非户籍常住人口和流动人口,所以利用 logistic 模型将经济与时间关联,再将人口与经济关联,以深圳未来人口预测量乘以人均垃圾清运量预测未来垃圾总量。

垃圾焚烧成本模型,包括直接成本(焚烧厂建设成本、土地成本、垃圾处理费、补贴经费税收减免成本)、间接成本(垃圾焚烧产生二噁英对生居民健康造成的损失、垃圾焚烧造成周围物业价值的下降、垃圾焚烧厂建设时安置居民的成本等)。根据点源扩散方程可以计算二噁英最不利风向条件下的最大落地浓度与扩散范围,根据二噁英的毒理分析估算出居民健康成本,根据扩散范围与当地房价计算出居民搬迁成本。

垃圾填埋成本模型,包括直接成本(垃圾填埋场的建设成本、土地用地成本、垃圾处理费、补贴经费税收减免成本)、间接成本(垃圾填埋产生的填埋气、渗滤液对地下水的污染的治理成本、垃圾填埋场臭气造成的周围物业价值的下降、填埋场建设时安置居民的成本)。本文基于对流弥散方程分析了垃圾填埋场渗滤液对地下水的污染范围,发现基于深圳市地下水状况,渗滤液污染在地下水扩散范围极大,治理成本高昂。

在对垃圾填埋处理进行风险分析时,主要考虑极端天气和自然灾害下,填埋气以及渗滤液发生泄漏后,污染物浓度骤增,导致的环境治理成本、补救成本以及健康成本。在对垃圾焚烧处理进行风险分析时,主要考虑非正常工况

(开关机、设备当机等)下,二噁英落地浓度与扩散范围的骤增,导致的居民健康成本与环境治理成本。

**关键词:** 生活垃圾处理、社会总成本、Logistic 模型、对流弥散方程、点源扩散方程

## 目录

1. 概述 .....	5
2.人口与垃圾量预测 .....	6
2.1 经济与时间关联 .....	6
2.2 经济与时间关联 .....	8
2.3 人均垃圾清运量与经济关联 .....	9
2.4 模型不稳定性分析 .....	12
3.社会总成本核算方法 .....	15
3.1 总成本核算方法 .....	15
3.2 核算方法进一步说明 .....	18
3.2.1 占地成本 .....	18
3.2.2 建设成本 .....	18
3.2.3 补贴成本 .....	18
3.2.4 税收减免 <sup>[4]</sup> .....	18
3.2.5 健康损失 .....	19
3.2.6 环境污染治理成本 .....	20
3.2.7 物业价值下降 .....	20
4.焚烧与填埋的环境影响评价 .....	21
4.1 垃圾焚烧厂造成的健康成本 .....	21
4.1.1 模型建立 .....	21
4.2 垃圾填埋场渗滤液造成的健康成本 .....	28
4.3 垃圾填埋场填埋气恶臭评价 .....	35
4.3.1 模型建立 .....	35
4.3.2 模型求解 .....	35
4.4.2 模式二 .....	37
4.4.2 模式三 .....	38
5.成本核算 .....	39
5.1 现状模式的社会总成本核算 .....	39
5.1.1 固定成本 .....	39
5.1.2 可变成本 .....	42
5.1.3 间接成本 .....	48

5.1.4 核算结果 .....	49
5.1.5 单位垃圾处理成本 .....	56
5.2 模式一的社会总成本核算 .....	56
5.2.1 固定成本 .....	56
5.2.2 可变成本 .....	58
5.2.3 间接成本 .....	59
5.2.4 核算结果 .....	60
5.2.5 单位垃圾处理成本 .....	66
5.3 模式二的社会总成本核算 .....	66
5.3.1 固定成本 .....	66
5.3.2 可变成本 .....	68
5.3.3 间接成本 .....	70
5.3.4 核算结果 .....	71
5.3.5 单位垃圾处理成本 .....	77
5.4 模式三的社会总成本核算 .....	78
5.4.1 固定成本 .....	78
5.4.2 可变成本 .....	79
5.4.3 间接成本 .....	81
5.4.4 核算结果 .....	82
5.4.5 单位垃圾处理成本 .....	88
6.措施与建议 .....	88
6.1 垃圾减量与分类 .....	88
6.1.1 源头减量与分类的意义 .....	88
6.1.2 深圳市现状与不足 .....	89
6.1.3 政策建议 .....	89
6.2 鼓励垃圾处理技术研发 .....	95
6.2.1 垃圾渗滤液处理技术 .....	95
6.2.2 垃圾焚烧厂烟气处理技术 .....	95
6.3 统计数据的改进建议 .....	95
6.3.1 对于有害垃圾的统计数据不足 .....	95
6.3.2 垃圾填埋场渗滤液浓度统计不足 .....	96
6.4 垃圾焚烧厂的选址 .....	96

7.模型的不足 .....	96
8.参考文献 .....	97

# 1.概述

随着社会的发展，城市化进程的加快，城市生活垃圾的排放量随着社会经济的发展日渐增加，国内各大城市在经济快速发展的同时承受着生活垃圾增加带来的巨大压力，如何有效地处理和处置不断产生的数量巨大的城市生活垃圾，已经成为摆在人们面前的一个比较棘手的问题。目前深圳市垃圾处理主要通过填埋与焚烧处理。填埋场包括下坪固体废弃物填埋场、龙岗坪西垃圾填埋场与宝安老虎坑垃圾填埋场；焚烧厂包括南山垃圾焚烧厂、盐田垃圾焚烧厂、老虎坑垃圾焚烧厂与平湖垃圾焚烧厂。目前深圳市所有垃圾处理厂日处理量均超过了设计日处理能力，深圳市已经面临垃圾围城的状态。

垃圾处理的直接成本包括建设成本、土地用地成本、垃圾处理费、补贴经费税收减免成本等。而城市生活垃圾处理所需要的成本，不仅包括直接成本，更重要的是城市生活垃圾处理对环境造成的污染从而对居民健康造成的损害。填埋处理造成的地下水污染尤其严重，如果要治理由垃圾填埋场引发的地下水污染，其治理成本十分高昂；而湿垃圾生物处理技术还不成熟，污染环境与导致中毒的风险较大；垃圾焚烧处理时，烟气中的二噁英对居民健康也有一定损害。因此，本文对不同垃圾处理方式做环境影响评价，找出损害最小的垃圾处理方式。

为了预测未来垃圾产生量，本文首先对深圳市人口进行预测。深圳市身为经济特区，这决定了其人口变化的特殊性。深圳市大部分人口为流动人口，这决定深圳市人口预测不能通过简单的人口与时间相关联的预测。深圳市大部分人口为外来务工人员，而经济发展水平决定了一个城市的平均工资，高水平工资往往会吸引大批务工人口。因此，本文对深圳市人口与 GDP 做 Logistics 回归分析。

本文根据对未来垃圾量的变化预测，用直接成本与环境污染模型计算了深圳市在现期、近期、中期、远期的社会总成本核算。并对建模中发现的问题提出了针对性建议。

## 2.人口与垃圾量预测

深圳市人口由户籍人口、非户籍常住人口（暂居一年以上）和流动人口三部分组成，其中户籍人口和非户籍常住人口常合称为常住人口。根据《深圳统计公报》<sup>[4]</sup>，2015年末深圳市常住人口达到1137.89万人，其中户籍人口354.99万人，非户籍常住人口782.90万人，而根据公安部门和深圳社工委提供的数据，深圳流动人口接近900万，实际管理人口接近2000万，所以深圳非户籍常住人口和流动人口占绝大多数，这是深圳市人口结构区别于国内其他城市的一个显著特点。

流动人口和非户籍常住人口的数量很大程度受经济的影响，所以我们利用logistic模型，将经济与时间关联，再将人口与经济关联，预测了未来到2030年的深圳总人口量；由于人均垃圾产生量会随着人们生活水平的提高而提高，所以我们将人均垃圾产生量与经济关联以预测未来的垃圾产生量。

已知生活垃圾产生量=生活垃圾清运量+作为再生资源回收利用的垃圾量，由于可回收物由废品回收系统直接回收再用，不再进入生活垃圾收运系统，也不会对生活垃圾处理设施的配置造成影响。所以我们研究进入收运系统的生活垃圾，即将人均垃圾收运量与经济关联。

而深圳市未来的垃圾清运总量等于深圳市人均垃圾清运量乘上深圳市未来总人口，从而完成了对深圳市未来垃圾清运总量的预测。

### 2.1 经济与时间关联

$x(t)$ 表示 $t$ 时刻真实GDP（名义GDP/CPI，剔除通货膨胀和物价上涨的影响）； $r$ 是增长率； $N$ 为上限值<sup>[2]</sup>

选择 $T_0$ 、 $T_1$ 、 $T_2$ 三年的经济量 $x_0$ 、 $x_1$ 、 $x_2$ ，其中

$$t_1 - t_0 = t_2 - t_1 = \tau \quad (2-1)$$

由

$$x_1 = \frac{N}{1 + \left(\frac{N}{x_0} - 1\right)e^{-r\tau}} \quad (2-2)$$

$$x_2 = \frac{N}{1 + \left(\frac{N}{x_1} - 1\right)e^{-r\tau}} \quad (2-3)$$

得

$$\frac{1}{x_1} = \frac{1}{N} + \left(\frac{1}{x_0} - \frac{1}{N}\right)e^{-r\tau} \quad (2-4)$$

$$\frac{1}{x_2} = \frac{1}{N} + \left(\frac{1}{x_1} - \frac{1}{N}\right)e^{-r\tau} \quad (2-5)$$

所以

$$\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2} = \left(\frac{1}{x_0} - \frac{1}{x_1}\right)e^{-r\tau} \quad (2-6)$$

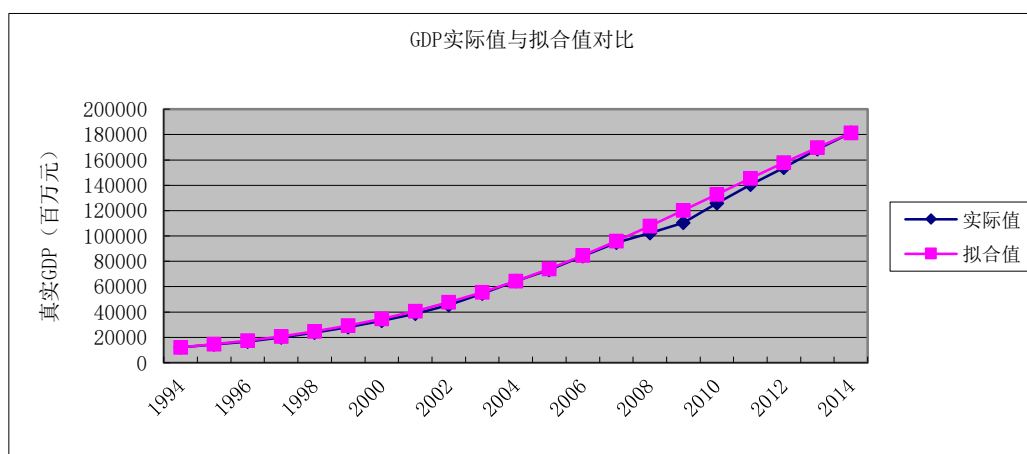
得出

$$r = \frac{1}{\tau} \ln \frac{\frac{1}{x_0} - \frac{1}{x_1}}{\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2}} \quad (2-7)$$

$$N = \frac{1 - e^{-r\tau}}{\frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_0} e^{-r\tau}} \quad (2-8)$$

所选三年为 $T_0=1994$ 年、 $T_1=2004$ 年、 $T_2=2014$ 年，拟合结果见图2-1

图2.1-1 GDP实际值与拟合值



由图2-1可见，1994-2014年拟合结果良好，只在2009年略有偏差，表现为预测值高于真实值，可能是因为08年金融危机的影响了深圳经济，而拟合曲线未能很好的反应意外事件波动。

据此预测了2014到2030年真实GDP，见表2.1-1

表2.1-1 2014到2030年真实GDP

年份	真实GDP（万元）
2015	191945.6015
2016	201777.0905
2017	210710.1773
2018	218725.1747
2019	225835.4245
2020	232079.9378
2021	237515.8705
2022	242211.6359
2023	246241.1182
2024	249679.1624
2025	252598.3112
2026	255066.6371
2027	257146.4657
2028	258893.7775
2029	260358.097
2030	261582.7081

## 2.2 经济与时间关联

以经济为自变量，人口为因变量，做拟合，数据从 1979 年到 2014 年，所选函数为

$$f(x) = a \cdot x^b + c \tag{2-9}$$

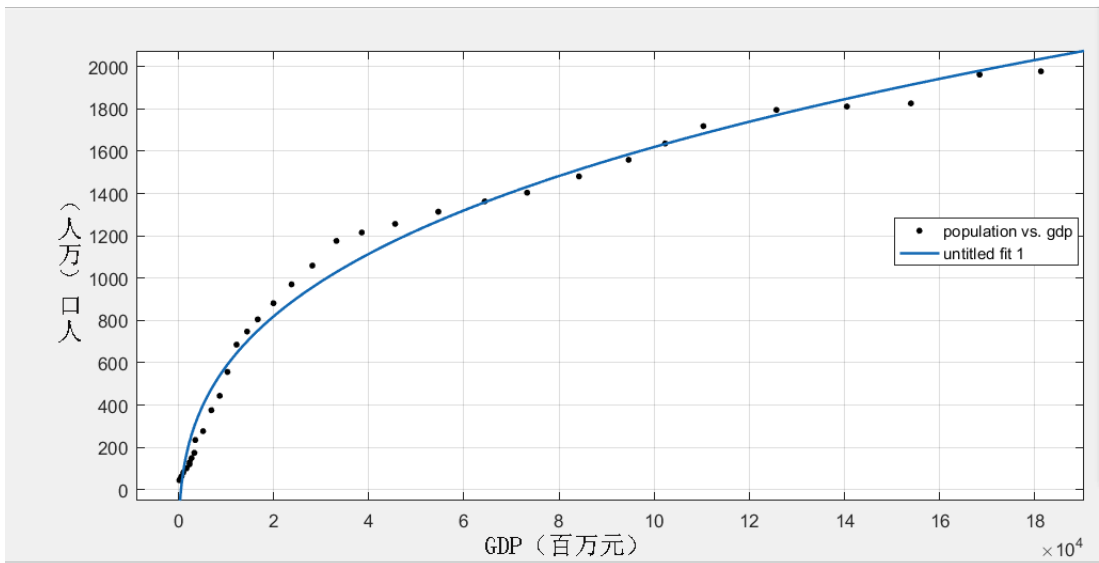
拟合结果见表 2.2-1、图 2.2-2:



表 2.2-1 经济与时间关联拟合结果

系数	取值	置信区间
a	51.15	(12.85, 89.45)
b	0.3183	(0.2613, 0.3754)
c	-377.3	(-573.2, -181.4)

图 2.2-2 经济与时间关联拟合结果



从图 2.2-2 可以看出，拟合优度为 98.45%，效果良好，据此预测 2015-2030 年总人口，见表 2.2-2。

2.3 人均垃圾清运量与经济关联

以经济为自变量，人均垃圾清运量为因变量，数据从 2000 年到 2014 年，所用函数为

$$f(x) = a \cdot x^b + c \tag{2-10}$$

拟合结果见表 2.3-1、图 2.3-1

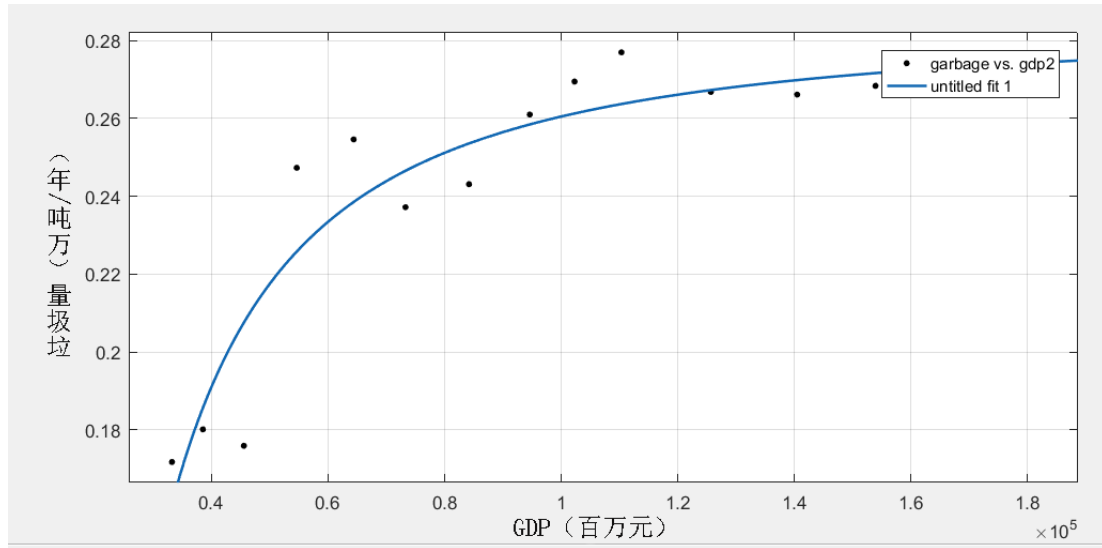
表 2.3-1 人均垃圾清运量与经济关联拟合结果

参数	取值	置信区间
a	-7.823e+5	(-1.043e+7, 8.867e+6)
b	-1.505	(-2.703, -0.308)
c	0.2838	(0.2503, 0.3174)

表 2.2-2 预测 2015-2030 年深圳市总人口

年份	总人口（万人）
2015	2080.130521
2016	2119.514913
2017	2154.181376
2018	2184.442169
2019	2210.660556
2020	2233.226378
2021	2252.53562
2022	2268.974595
2023	2282.908697
2024	2294.675205
2025	2304.579422
2026	2312.893363
2027	2319.856273
2028	2325.676359
2029	2330.533243
2030	2334.580778

图 2.3-1 人均垃圾清运量与经济关联拟合结果



并据此预测 15-30 年垃圾量，见表 2.3-2

表 2.3-2 预测 2015-2030 年深圳市垃圾清运量

年份	垃圾清运量（万吨）
2015	572.1322647
2016	584.3084594
2017	594.9693181
2018	604.2350475
2019	612.2345691
2020	619.0996564
2021	624.960006
2022	629.9394557
2023	634.153364
2024	637.707033
2025	640.6949898
2026	643.2009217
2027	645.2980735
2028	647.0499424
2029	648.5111419
2030	649.7283376

## 2.4 模型不稳定性分析

根据上文未来垃圾清运量的预测，可以计算出垃圾量年增长率（垃圾量年增长率=（本年垃圾量-上年垃圾量）/上年垃圾量），见表 2.4-1。

表 2.4-1 垃圾增长率预测

年份	垃圾量(万吨/年)	增长率(%)
2000	202	-
2001	219	8.415842
2002	221	0.913242
2003	325	47.05882
2004	347	6.769231
2005	333	-4.03458
2006	360	8.108108
2007	407	13.05556
2008	441	8.353808
2009	476	7.936508
2010	479	0.630252
2011	482	0.626305
2012	490	1.659751
2013	522	6.530612
2014	541	3.639847
2015	572.1323	5.754578
2016	584.3085	2.128213
2017	594.9693	1.824526
2018	604.235	1.557346
2019	612.2346	1.323909
2020	619.0997	1.121317
2021	624.96	0.946592
2022	629.9395	0.796763

2023	634.1534	0.668939
2024	637.707	0.56038
2025	640.695	0.468547
2026	643.2009	0.391127
2027	645.2981	0.326049
2028	647.0499	0.271482
2029	648.5111	0.225825
2030	649.7283	0.187691

注：增长率=（本年垃圾量-上年垃圾量）/上年垃圾量

垃圾量预测解释度到 85%以上，可以认为具有一定可信度，根据预测结果，如果不采取减量或分类措施，按照现有趋势发展，深圳的垃圾量会缓慢上升，但上升幅度越来越小（由增长率可见），至 2030 年基本趋于稳定，深圳垃圾量增长的原因有：

一是人口因素。深圳人口仍然处于增长阶段，增长幅度在减缓。例如龙华片区人口数量增加迅速。由于经济的发达带来了流动人口，旅游业，餐饮业等第三产业仍在扩张，使得一次性餐具，厨余垃圾等清运量仍在上升。

二是市民的生活水平提高，人均占有资源多。可以看到 2000 年前后垃圾量并不多，近十年内“垃圾围城”才成为政府关注的问题，这一方面是因为近年来常住人口和流动人口的增加，另一方面，随着物质资源的丰富，铺张浪费的现象愈加明显，也是垃圾清运量居高不下的原因之一。

三是人们的生活方式改变，比如网购的消费方式就造成快递件包装物大量增加，电子产品越来越快的更新换代造成电子线路器件回收压力增大，而且这类垃圾处理还容易造成二次污染。

从日本、台湾地区的经验来看，一个城市的生活垃圾增量到了一定时间会出现拐点。拐点出现的条件是：经济发展到一定的水平；人口数量相对稳定；生活垃圾的投放与回收进行细致的分类。

目前深圳最需要做的就是第三点，生活垃圾减量与分类，我们假设深圳可以通过控制实现自 2015 年起每年垃圾量增长率在当前增长率下再降低 3%，则预测垃圾减少量见表

2.4-2

表 2.4-2 深圳市预测垃圾减少量

年份	控制后增长率(%)	控制后垃圾量(万吨/年)	垃圾减少量
2015	2.754578	555.9023	2.877571
2016	-0.87179	551.056	5.857586
2017	-1.17547	544.5785	8.844009
2018	-1.44265	536.7221	11.83444
2019	-1.67609	527.7261	14.82655
2020	-1.87868	517.8118	17.81807
2021	-2.05341	507.179	20.8068
2022	-2.20324	496.0047	23.79066
2023	-2.33106	484.4425	26.76764
2024	-2.43962	472.6239	29.73583
2025	-2.53145	460.6597	32.69343
2026	-2.60887	448.6417	35.6387
2027	-2.67395	436.6452	38.57002
2028	-2.72852	424.7313	41.48583
2029	-2.77418	412.9485	44.38467
2030	-2.81231	401.3351	47.26513

注：控制后增长率=控制前增长率-3%、本年控制后垃圾量=上年控制后垃圾量\*（1+控制后增长率）、垃圾减少量=2\*（控制前垃圾量-控制后垃圾量）/（控制前垃圾量+控制后垃圾量）\*100%

可见深圳如果每年垃圾增长率降低 3%，就可以实现基本达到杨雷副局长所提的未来 3 年垃圾处理量要减少 10%的目标<sup>[3]</sup>，抵消人口增长、经济发展带来的垃圾增长。

### 3.社会总成本核算方法

#### 3.1 总成本核算方法

参照北京市垃圾焚烧社会总成本的核算边界<sup>[4]</sup>，垃圾处理社会总成本应包括政府的公共财政直接或间接支付的资金，以及公众由于垃圾处理（填埋焚烧）造成的环境污染而承担的健康成本。超出核算边界的由企业等承担的成本本文核算时不予考虑。

核算边界内的成本主要有固定成本，包括垃圾处理设施的占地成本、建设成本、填埋场的封场成本、中转站的相关成本等；可变成本，包括垃圾的收运成本、源头分类成本、垃圾处理费以及各项补贴成本和税收减免成本等；间接成本，主要包括垃圾处理给公众带来的健康损失成本、环境污染的治理成本以及由于垃圾处理设施的存在造成的周围土地价格下降成本。具体核算方法见表 3.1-1。

表 3.1-1 总成本核算方法

类别	项目	公式	说明
固定成本（F）	填埋场占地成本（ $L_1$ ）	$L_1 = \frac{Q_1 \cdot a}{\rho \cdot h}$	$Q_1$ :年度垃圾填埋量 $\rho$ :垃圾填埋密度 $h$ :平均填埋高度 $a$ : 工业用地基准地价
	焚烧厂占地成本（ $L_2$ ）	$L_2 = \frac{S \cdot a}{n}$	$S$ :焚烧厂占地面积 $n$ :使用年限 $a$ :工业用地基准地价
	生物处理厂占地成本（ $L_3$ ）	$L_3 = \frac{Q_3 \cdot s \cdot a}{n \cdot d}$	$Q_3$ : 年度垃圾处理量 $s$ : 处理单位垃圾占地 $a$ : 工业用地基准地价 $d$ :生物处理厂年运行天数 $n$ : 工业用地使用年限
	填埋场建设成本（B）	$B = \frac{bQ_1}{\rho}$	$b$ : 每立方米建设成本 $Q_1$ : 年度垃圾填埋量

类别	项目	公式	说明
			$\rho$ : 垃圾填埋密度
	封场成本 (CL)	$CL = CL_1 + CL_2$	CL <sub>1</sub> : 填埋垃圾的封场成本 CL <sub>2</sub> : 灰渣填埋的封场成本
	垃圾中转站成本 ( $P_T$ )	$P_T = L_T + B_T + F$	L <sub>T</sub> : 垃圾中转站的占地成本 B <sub>T</sub> : 垃圾中转站的建设成本 F: 垃圾中转站的运维成本
	收运成本 (C)	$C = v \cdot Q$	v:单位垃圾量收运成本 Q:年度垃圾处理量
	源头分类成本 (I)	$I = i \cdot Q$	i:单位垃圾源头分类成本 Q:年度垃圾处理量
	垃圾处理费 (P)	$P = p_1 \cdot Q_1 + p_2 \cdot Q_2 + p_3 \cdot Q_3$	p <sub>1</sub> 、p <sub>1</sub> 、p <sub>2</sub> : 填埋、焚烧、堆肥的单位垃圾处理费 Q <sub>1</sub> 、Q <sub>2</sub> 、Q <sub>3</sub> : 填埋、焚烧、堆肥方式处理的垃圾量
可变成 本	税收减免 (T)	$T = \sum_{i=1}^{n_0} T_i$	T <sub>i</sub> :各项税收减免
(V)	电价补 贴 (E)	$E = p_e \cdot c_e$	c <sub>e</sub> :垃圾发电总量 p <sub>e</sub> : 单位发电量补贴费用
补贴成 本	渗沥液 补贴 (S) (W)	$W = p_w \cdot c_w$	c <sub>w</sub> :渗沥液处理总量 p <sub>w</sub> : 单位渗沥液处理补贴费 用
	底灰处 理补贴 (BA)	$BA = a_1 \cdot b_1$	a <sub>1</sub> : 单位底灰补贴量 b <sub>1</sub> : 底灰产生总量



类别	项目	公式	说明
	飞灰处理补贴 (FA)	$FA = a_2 \cdot b_2$	$a_2$ : 单位飞灰补贴量 $b_2$ : 飞灰产生总量
	其他补贴 (O)	$O = \sum_{i=1}^n O_i$	$O_i$ : 清洁生产补贴等其他补贴费用
	健康损失 (H)	$H = \sum_{i=1}^n Risk \cdot dens \cdot A_i \cdot (Cost_l + Cost_c)$	Risk: 二噁英致癌风险 dens: 人口密度 $A_i$ : 不同浓度区域的人口面积 $Cost_l$ : 个体生命价值 $Cost_c$ : 治疗成本
间接成本 (U)	环境污染成本 (EV)	$EV = V_{pollute} \cdot (Oper + Cap)$	$V_{pollute}$ : 受污染的地下水体积 Oper: 单位地下水治理运营成本 Cap: 单位地下水运营投资成本
	物业价值下降 (HO)	$HO = \alpha \cdot s_0 \cdot p_0$	$\alpha$ : 垃圾处理厂造成的地价下降幅度 $s_0$ : 垃圾处理厂造成地价下降的范围内土地出让面积 $p_0$ : 住宅用地出让年平均单价

## 3.2 核算方法进一步说明

### 3.2.1 占地成本

本文在计算垃圾处理设施的占地成本时，统一按照工业用地三十年计算，计算时的土地价格按照工业用地基准地价测算，将占地成本平均分摊到三十年计算。

### 3.2.2 建设成本

考虑到垃圾焚烧厂和堆肥厂目前所采取的运营模式绝大部分都为 BOT 模式，因此本文在计算垃圾处理设施的建设成本时，焚烧厂和堆肥厂的建设成本都认为是由企业自行承担，而只计入垃圾填埋场和垃圾转运站的建设成本。

### 3.2.3 补贴成本

本文在核算垃圾处理的补贴时，主要计算垃圾处理设施处的补贴，其中，垃圾焚烧厂的主要补贴为电价补贴，占据了补贴费用的大部分。下面对垃圾焚烧发电的补贴核算进行简要说明。

2012 年，国家发改委发布《关于完善垃圾焚烧发电价格政策的通知》，指出生活垃圾发电，每吨垃圾上网电量为  $280\text{kW}\cdot\text{h}$ ，垃圾发电标杆电价 0.65 元<sup>[5]</sup>，超过  $280\text{kW}\cdot\text{h}$  执行当地同类燃煤发电机组上网电价。估算中深圳的发电厂暂无单位垃圾发电量超过  $280\text{kW}\cdot\text{h}$  的补贴限额的。故统一按照限额内补贴进行核算。每度电补贴的额度为 0.65 元的垃圾发电标杆电价减去深圳市燃煤发电上网电价，下文具体核算时还将进一步说明。

而由于暂无垃圾填埋气制天然气等补贴政策的具体数据，本文在计算垃圾填埋气产生的补贴时统一认为填埋气用于上网发电，补贴额度参照垃圾焚烧发电。

### 3.2.4 税收减免<sup>[4]</sup>

#### （1）增值税减免

垃圾处理再生水销售，实行免征增值税政策。水的增值税税率为 13%。根据《关于资源综合利用及其他产品增值税政策的通知》(财税〔2008〕156 号)第一条规定，对符合水利部《再生水水质标准》(SL368-2006)的有关规定的再生水销售实行免征增值税政策。垃圾焚烧发电，实行增值税即征即退。电力、燃料的增值税税率为 17%。根据深圳市税务局税务资格备案，以垃圾以及利用垃圾发酵产生的沼气生产的电力或者热力实行增值税 100%即征即退。垃圾用量占发电燃料的比重不低于 80%，且排放达到《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB18485—2001)的有关规定，实行增值税即征即退的税收优惠政策。

## (2) 企业所得税减免。

资源综合利用企业的资源综合利用收入减按 90%计入企业当年收入总额。根据《资源综合利用企业所得税优惠目录(2008 年版)》(以下简称《目录》)企业以规定的资源作为主要原材料，生产国家非限制和非禁止并符合国家及行业相关标准的产品取得的收入，减按 90%计入企业当年收入总额。

购置并实际使用垃圾处理专用设备的，其投资额的 10%可以从应纳税额中抵免。《中华人民共和国企业所得税法实施条例》(2007 年)第一百条规定：城镇污水处理项目和城镇垃圾处理项目购置并实际使用《环境保护专用设备企业所得税优惠目录》、《节能节水专用设备企业所得税优惠目录》和《安全生产专用设备企业所得税优惠目录》规定的环境保护、节能节水、安全生产等专用设备的，该专用设备的投资额的 10%可以从企业当年的应纳税额中抵免。

公共垃圾处理项目的所得税，企业所得税享受“三免三减半”。不免除的情况下企业所得税税率为 25%。根据《中华人民共和国企业所得税法》及其实施条例规定，企业从事国家规定的符合条件的公共污水处理、公共垃圾处理、沼气综合开发利用、节能技术改造等环境保护、节能节水项目的所得，自项目取得第一笔生产经营收入所属纳税年度起，第 1 年至第 3 年免征企业所得税，第 4 年至第 6 年减半征收企业所得税。

## 3.2.5 健康损失

本文所述的健康损失主要指垃圾焚烧厂烟气中的二噁英所造成的居民健康损失。二噁英健康损失核算比较复杂，本节只列出根据二噁英的致病风险所计算的二噁英健康风险成本。关于二噁英的致病风险，将在第 4 大节具体分析。

3.2.6 环境污染治理成本

本文环境污染主要指，垃圾填埋过程中渗滤液对地下水的污染。环境污染治理成本主要是地下水污染治理成本。本节主要给出根据地下水污染体积所计算的治理成本。关于地下水污染体积的预测在第 4 大节详细给出。

3.2.7 物业价值下降

垃圾处理厂是典型的厌恶型基础市政设施，由于垃圾处理场的存在势必会使周围的物业价值下降，研究表明，消费者的消费心理受影响的过程如下图 3.2-1 所示：

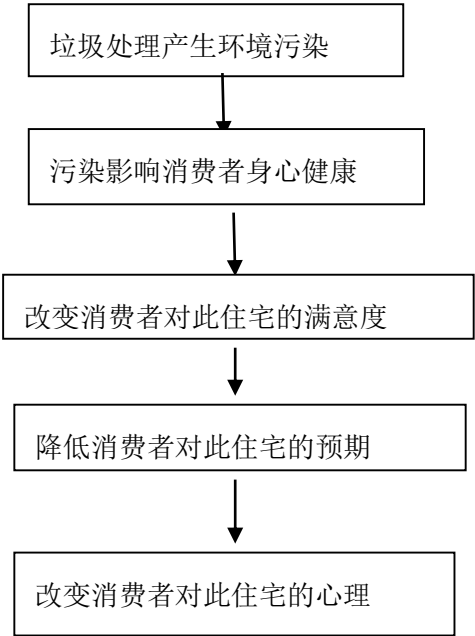


图 3.2-1 垃圾处理对购房者心理影响过程<sup>[6]</sup>

而垃圾处理厂周围的物业价值下降最直接的体现就是垃圾处理厂周围的小区的住宅房价会比相同水平的未受垃圾处理厂影响的小区的住宅房价有一个很明显的下降。但此部分损失是由房地产开发商来承担，未被划定在社会总成本的界定之内。

但消费者的心理受垃圾处理厂的存在影响造成开发商的开发的的小区的价格下降，会造成开发商在土地竞标的时候也会考虑到垃圾处理厂的存在而降低对该土地的心理预期从而给出比正常情况低一些的竞标价格，也就意味着，政府在土地招标时的收益也会因为垃圾处理厂的存在而大大降低，本文将此项成本也列入垃圾填埋处理的社会总成本当中。

小组在搜索资料中发现，深圳市民对于垃圾处理设施的意见较为严重，在百度搜索与深圳市垃圾焚烧厂填埋场的相关信息时，会出现不少关于公众由于垃圾处理对自身居住环境的担忧以及不满，因此，本部分成本再计算时不可忽略。

Nelson 等用经验模型指出对房地产的负面影响在距垃圾处理厂 2 英里以内，超过 2-25 英里影响就可以忽略了，并认为在相同的住宅市场下，距离垃圾处理厂 2 英里的比距离 2 英里以内的住宅价值要增长 6%。<sup>[7]</sup>（2 英里 $\approx$ 3.2 公里）因此，在测算垃圾处理造成周围的周围物业价值下降时，根据 Nelson 的结果我们近似地认为垃圾处理厂只会对周围半径为 3.2 公里的物业价值造成影响，核算时只计入土地价格的成本。

设垃圾填埋场周围 3.2 公里的土地出让（垃圾填埋场拟建后）的面积为 S，土地的平均交易价格为 P，按照 Nelson 等人的研究成果 6% 计算，则垃圾处理厂对周围物业价值的影响成本 HO 为：

$$HO = 0.06 \cdot s_0 \cdot p_0 \quad (3-1)$$

## 4. 焚烧与填埋的环境影响评价

### 4.1 垃圾焚烧厂造成的健康成本

#### 4.1.1 模型建立

以焚烧厂烟囱底部为坐标轴原点，平均风向为 x 轴，y 轴在水平面内垂直于 x 轴，y 轴的正向在 x 轴的左侧，z 轴垂直于水平面，向上为正方向。在这种坐标系中，烟流中心或与 x 轴重合，或在 xOy 面的投影为 x 轴。

（1）四点假设：

- ① 污染物在 yOz 平面中按正态分布，在 x 轴方向只考虑迁移，不考虑扩散。
- ② 在整个空间中风速是均匀的、稳定的，风速大于 1m/s。
- ③ 源强是均匀连续的。
- ④ 在扩散过程中污染质量守恒

（2）模型的建立

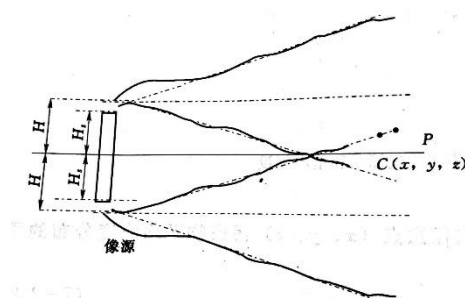
首先在无限空间中，根据正态分布假设，空间 P 点(x, y, z)中二噁英浓度<sup>[8]</sup>为：

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\left(\frac{y^2}{2\sigma_y^2} + \frac{z^2}{2\sigma_z^2}\right)\right] \quad (4-1)$$

其中 $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ 为二噁英浓度在 y, z 方向上的标准差, u 为平均风速, Q 为源强。

高架连续点源的扩散问题必须考虑到地面对扩散的影响。根据前述质量守恒假设, 可以认为地面对污染起全反射作用。按照全反射原理, 可以用像源法处理该问题。

图 4.1-1 高架连续点源的扩散模式<sup>[8]</sup>



如图 4.1-1, 可以把 P 点污染物看做两部分之和: 一部分是不存在地面影响下的 P 点所具有的污染物浓度; 另一部分是由于地面反射作用而增加的污染物浓度。因此, P 点的实际污染物浓度为<sup>[8]</sup>:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (4-2)$$

### (3) 参数 $\sigma_y$ , $\sigma_z$ 的确定

由正态分布假设, 参数可以用下风距离 x 表达为 $\sigma_y = \gamma_1 x^{\alpha_1}$ ,  $\sigma_z = \gamma_2 x^{\alpha_2}$ 。其中参数 $\gamma_1$ 、 $\alpha_1$ 、 $\gamma_2$ 、 $\alpha_2$ 由大气稳定度决定<sup>[8]</sup>。

大气稳定度分为 A~F 六级, 可由太阳辐射等级与地面风速求解<sup>[8]</sup>。其中深圳市年平均地面风速 u 约 1.9m/s; 而太阳辐射等级由垃圾焚烧厂所处地域的云量与太阳高度角决定。

太阳高度角可以由赤纬角 $\delta$ 和当地纬度 $\varphi$ 来表示<sup>[8]</sup>:  $h_\theta = \arcsin(\cos(\varphi - \delta))$ 其中深圳市纬度为北纬 22°, 即 $\varphi = 22.5^\circ$ ; 赤纬角可以根据时间计算, 记 n 为从夏至开始的第 n 天, 则有 $\delta = \arcsin(\sin 23.5^\circ \cos(\frac{360^\circ}{365}n))$ 。经计算, 当  $99 \leq n \leq 268$  时,  $h_\theta \leq 65^\circ$ ; 其他情况时,  $h_\theta \geq 65^\circ$ 。根据 ISCCP 的观测数据, 深圳市年平均总云量与低云量维持在 70%左右。因此根据太阳辐射等级决定表<sup>[8]</sup>, 深圳市太阳辐射等级 Lev 与 n 的关系为:

$$Lev = \begin{cases} 0 & 99 \leq n \leq 268 \\ 1 & n \leq 99, n \geq 268 \end{cases} \quad (4-3)$$

因此, 当  $99 \leq n \leq 268$  时, 深圳市大气稳定度为 D; 当  $n \leq 99, n \geq 268$  时, 深圳市大气稳定度为 B。

根据扩散系数幂函数表达式可决定参数 $\sigma_y, \sigma_z$ :

$$\sigma_y = \gamma_1 x^{\alpha_1}, \sigma_z = \gamma_2 x^{\alpha_2} \quad (4-4)$$

其中 $\gamma_1, \alpha_1, \gamma_2, \alpha_2$ 的取值见表 4.1-1:

表 4.1-1  $\gamma_1, \alpha_1, \gamma_2, \alpha_2$  的取值<sup>[8]</sup>

	99 ≤ n ≤ 268,	99 ≤ n ≤ 268,	n < 99, n > 268	n < 99, n > 268
参数	x < 1000	x ≥ 1000	x < 1000	x ≥ 1000
$\gamma_1$	0.929481	0.888723	0.91437	0.941015
$\alpha_1$	0.110726	0.146669	0.2818426	0.12719
$\gamma_2$	0.826212	0.632023	0.941015	1.09356
$\alpha_2$	0.104634	0.400167	0.12719	0.057025

### (3) 源强的确定

污染物源强 $Q$  (pg/s)是指单位时间内污染物的排放量, 记生活垃圾日处理量为 $Am$  (t/d), 单位生活垃圾焚烧产生的烟气量为 $Sm$  (m<sup>3</sup>/t), 垃圾焚烧厂烟气中二噁英浓度为 $C_0$ 。则 $Q = Am \cdot Sm \cdot C_0 / 86400$ 。

参考<sup>[16]</sup>, 单位生活垃圾焚烧产生的烟气量约为7000 (m<sup>3</sup>/t)。查阅深能环保公司网站知, 深圳市垃圾焚烧厂烟气排放达到欧盟标准, 即烟气中二噁英浓度小于100pg I—TEQ/m<sup>3</sup>。为了充分考虑二噁英排放所产生的最大风险, 我们认为 $C_0 = 100\text{pg I—TEQ/m}^3$ 。

### (4) 二噁英毒理分析

二噁英的健康风险威胁。假设深圳市垃圾焚烧厂周围不存在农田与养殖场, 则二噁英95%由呼吸进入人体。引入二噁英的日呼吸暴露量。根据参考文献<sup>[9]</sup>, 可知:

$$IP = Vr \cdot C \cdot AF / W \quad (4-5)$$

这里, :  $IP$  为二噁英呼吸日暴露量, 以国际毒性当量因子 I—TEQ 计, pg I—TEQ/(kg·d);  $Vr$  为呼吸吸入二噁英的速率, m<sup>3</sup>/d, 取0.25m<sup>3</sup>/d;  $C$  为空气中二噁英的毒性当量浓度, pg I—TEQ/m<sup>3</sup>, 显然  $C$  与 Dioxin 是成正比的;  $AF$  为空气吸入因子, 取0.343;  $W$  为体重, 成人取 60.6 kg。

根据世界卫生组织的研究, 以 $Can$  (kg·d/pg)记二噁英的致癌因子,  $Can$  服从均匀分布  $U(34,56)$ 。则二噁英致癌风险  $Risk$  表示为:

$$Risk = IP \cdot Can \quad (4-6)$$

(5) 二噁英产生的社会成本分析：

由于二噁英致癌风险表示了在特定二噁英浓度下的居民发病率。因此由二噁英排放所造成的社会成本 Cost 可以表示为<sup>[4]</sup>：

$$H = \sum_{i=1}^n Risk \cdot dens \cdot A_i \cdot (Cost_l + Cost_c) \tag{4-7}$$

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

4.1.2 模型求解

(1) 二噁英落地浓度预测

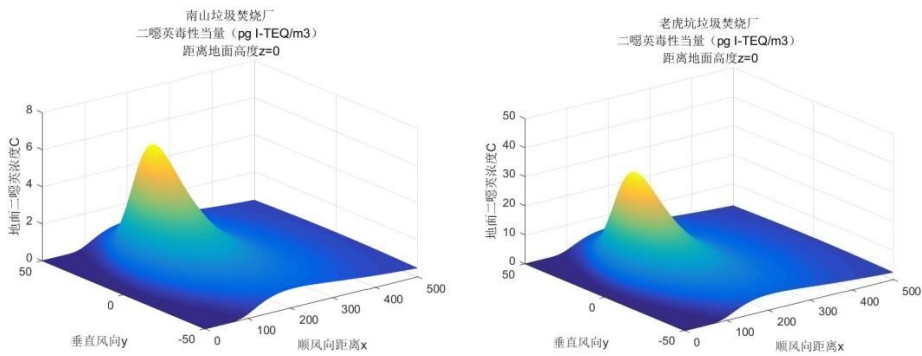
查阅深圳市城管局资料后，可计算出不同焚烧厂二噁英源强，见表 4.1-2。

表 4.1-2 深圳市焚烧厂二噁英源强

名称	垃圾日处理能力 (t/d)	垃圾焚烧烟气产生量(m <sup>3</sup> /d)	二噁英源强 Q(pg/s)
南山	800	5600000	6.481e+3
盐田	450	3150000	3.646e+3
老虎坑	4200	29400000	3.4028e+4
平湖一期	675	4725000	5.469e+3
平湖二期	1000	7000000	8.102e+3
合计	7125	49875000	5.7726e+4

取焚烧厂烟囱高度为 100m，计算出深圳市垃圾焚烧厂周围的地面二噁英浓度分布见图 4.1-2 至图 4.1-3。

图 4.1-2 深圳市垃圾焚烧厂二噁英毒性当量的地面分布（1）





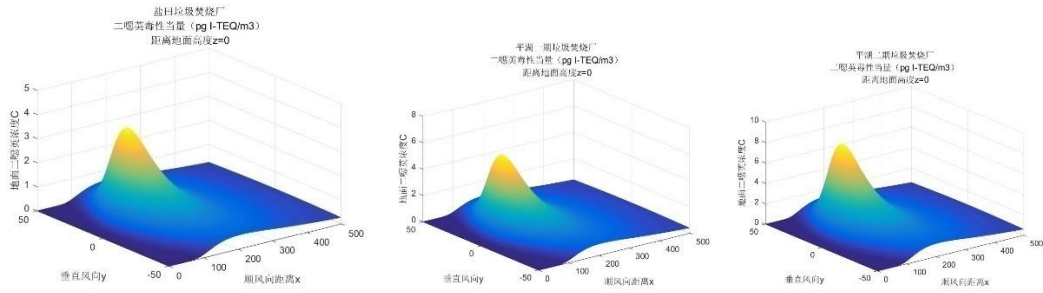
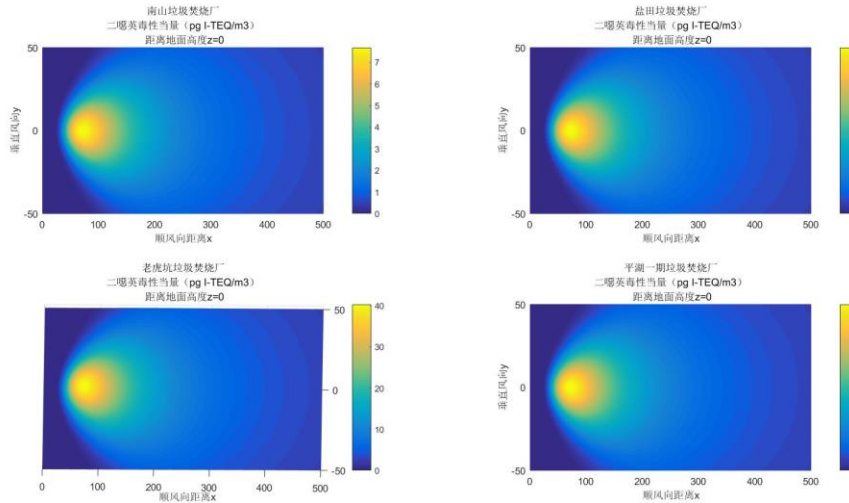


图 4.1-3 深圳市垃圾焚烧厂周围二噁英毒性当量的地面分布（2）



## （2）最大落地浓度

对地面轴线的浓度公式 $C(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \{ \exp[-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}] \}$ 求导可得最大落地浓度 $C_{max}$ 与最大落地浓度位置 $X_{max}$ 的表达式为<sup>[8]</sup>:

$$C_{max} = \frac{2Q}{e\pi u H^2 P_1} \quad (4-8)$$

其中

$$P_1 = \frac{2\gamma_1\gamma_2 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2}}{\left(1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) H \left(1 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) e^{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)}} \quad (4-9)$$

根据上节数据可以计算出不同垃圾焚烧厂的最大落地浓度与沿风向距离见表 4.1-3。

表 4.1-3 不同垃圾焚烧厂的最大落地浓度

名称	最大落地浓度(pg I—TEQ/m³)	日呼吸暴露量(pg I—TEQ/(kg·d))
南山	4.0402	0.0057
盐田	2.2726	0.0032

老虎坑	21.21	0.0300
平湖一期	3.4089	0.0048
平湖二期	5.0502	0.0071

根据世界卫生组织标准，人体最大日呼吸暴露量为  $4.0 \text{ pg I—TEQ}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ，一般要求人体日呼吸暴露量不能超过该值的 10%，而从表中可以看出四座焚烧厂的最大落地浓度处的人体日呼吸暴露量均小于最大日呼吸暴露量的 10%。因此，深圳市四座垃圾焚烧场的建设是有合理性的。

### （3）可能导致的患癌人数

2015 年深圳市人口密度  $\text{dens}$  为 5697 人/每平方公里，位居全国人口密度排行第一。如果人口平均分布，则在可以按照人口密度与患病风险算出不同垃圾焚烧厂周围的患病人数见表 4.1-4。

表 4.1-4 各焚烧厂周围可能的居民患病人数

名称	预测周围居民患病人数
南山垃圾焚烧厂	33
盐田垃圾焚烧厂	18
老虎坑垃圾焚烧厂	176
平湖一期垃圾焚烧厂	28
平湖二期垃圾焚烧厂	41
合计	296

### （4）居民健康成本计算

个体生命价值  $\text{Cost}_i$  根据我国交通事故赔偿金计算方法可得 973900 元，癌症治疗费用取平均值 55 万元。因此可以根据各焚烧厂居民患病人数计算出深圳市垃圾焚烧厂导致的居民健康成本，见表 4.1-5。

表 4.1-5 各焚烧厂周围可能的居民患病人数

名称	居民健康成本（千万元）
南山垃圾焚烧厂	5.11
盐田垃圾焚烧厂	2.88
老虎坑垃圾焚烧厂	26.85

平湖一期垃圾焚烧厂	4.32
平湖二期垃圾焚烧厂	6.39
合计	45.55

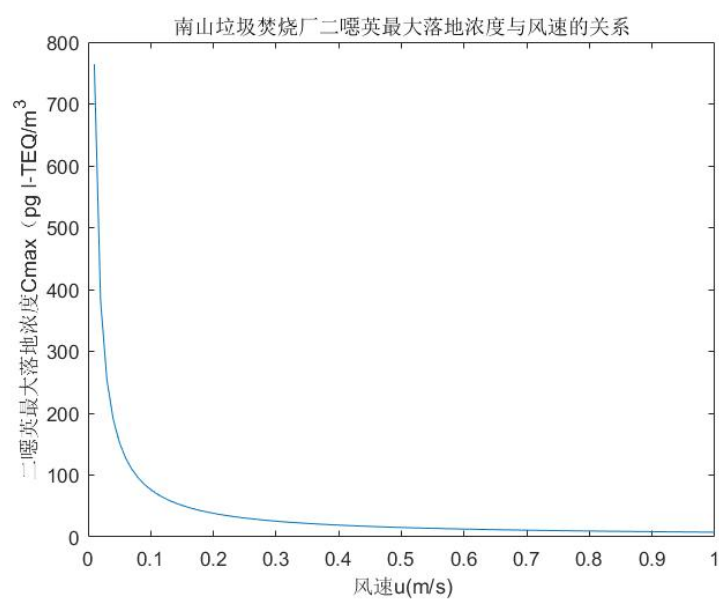
因此深圳市垃圾焚烧所造成的居民健康成本为 4.56 亿元。

### 4.1.3 环境影响风险分析

#### （1）最不利风速下最大落地浓度

从二噁英最大落地浓度公式 $C_{max} = \frac{2Q}{\pi u H^2 P_1}$ 可以看出最大落地浓度 $C_{max}$ 随风速  $u$  的减小而提高，以南山垃圾焚烧厂为例最大落地浓度随风速的变化如图 4.1-4：

图 4.1-4 南山垃圾焚烧厂风速与最大落地浓度的关系



由图 4.1-4 可见，以南山垃圾焚烧厂为例，当风速小于 0.1 m/s 时，会给垃圾焚烧厂周围的二噁英最大落地浓度会急速飙升，其中，当风速小至 0.01m/s 时，南山垃圾焚烧厂周围的二噁英最大落地浓度会升至 764.5pg I—TEQ/m³。

#### （2）最不利风速居民健康成本

根据深圳市气象台统计数据，2015 年的 8395 次风速统计中，共有 20 次风速统计小于 0.01m/s。因此认为深圳市风速小于 0.01m/s 的概率为 0.23%。令  $u=0.01m/s$ ，计算最不利风速下的深圳市垃圾焚烧厂的居民健康成本，见表 4.1-6。

表 4.1-6 最不利风速下的居民健康成本

名称	风速 $u(m/s)$	最大落地浓度( $pg\ I—TEQ/m^3$ )	患病人数 (人)	健康成本(亿 元)
----	-------------	---------------------------	-------------	--------------

南山	0.01	764.52	638	9.71
盐田	0.01	430.04	358	5.47
老虎坑	0.01	4103.78	3348	51.02
平湖一期	0.01	645.07	538	8.20
平湖二期	0.01	955.66	797	12.15
合计		6809.1	5679	86.54

由表 4.1-6 知，在如果深圳市长时间处于最不利风速条件下，垃圾焚烧厂周围的居民的患病人数会飙升至 5679 人，健康成本会飙升至 86.54 亿元。因此一旦深圳市垃圾焚烧厂周围风速长时间处于 0.01m/s 以下，则居民健康成本会急速飙升。

根据深圳市历史数据，最不利风速的发生概率只有 0.23%，因此垃圾焚烧厂周围风速持续低于 0.01m/s 的情况几乎不可能发生。但是这种情况需要在新建垃圾焚烧厂时考虑到，如果垃圾焚烧厂周围由于地形因素，风速常年较低，垃圾焚烧厂周围的二噁英浓度会持续偏高，导致极高的健康成本。

## 4.2 垃圾填埋场渗滤液造成的健康成本

### 4.2.1 模型建立

#### (1) 渗滤液扩散模型

当渗滤液流入地下水时由于地下水的流动作用与弥散作用，污染物的扩散可以用对流弥散方程来描述，即<sup>[8]</sup>：

$$R \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (4-10)$$

另外有初值条件:  $c(x, 0) = 0$  与边界条件:  $c(0, t) = c_0$   $c(\infty, t) = 0$ 。其中  $c$  为垃圾渗滤液的 COD 值 (mg/L)， $x$  为距离 (m)， $t$  为时间 (s)， $u$  为垃圾填埋场所在地的地下水流速 (m/s)， $D$  为水动力弥散系数 ( $m^2/s$ )， $R$  为阻滞因子， $c_0$  为初始浓度即渗滤液进入地下水的 COD 值。

这是一个二阶常系数线性齐次偏微分方程的定解问题，可以采用拉普拉斯变换法求解，当渗滤液持续排放进入地下水时，其解为<sup>[8]</sup>：

$$C = \frac{c_0}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x - \frac{ut}{R}}{2\sqrt{\frac{Dt}{R}}}\right) + \frac{c_0}{2} \exp\left(\frac{ux}{D}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x + \frac{ut}{R}}{2\sqrt{\frac{Dt}{R}}}\right) \quad (4-11)$$

## (2) 地下水处理成本模型

记渗滤液在沿流速方向、垂直流速并水平、垂直流速并铅垂的扩散距离分别为  $x(\text{m})$ ,  $y(\text{m})$ ,  $z(\text{m})$ 。则垃圾渗滤液所污染的地下水估算体积  $V_{\text{pollute}}(t)$  为

$$V_{\text{pollute}} = x \cdot y \cdot z \quad (4-12)$$

现行的地下水污染治理方法中最有效的为抽出处理方法。抽出处理技术的成本可以分为运行成本  $Oper(\text{¥/t})$  与投资成本  $Cap(\text{¥/t})$ 。因此渗滤液对环境影响的成本可以记为:

$$EV = V_{\text{pollute}} \cdot (Oper + Cap) \quad (4-13)$$

## 4.2.2 模型求解

### (1) 渗滤液在地下水非饱和带的迁移

我国目前垃圾渗滤液的处理工艺最高可以除去垃圾渗滤液中 90% 的 COD 值。查阅资料<sup>[10]</sup>可知, 深圳市目前垃圾渗滤液 COD 值约为 5600mg/L, 因此处理过的垃圾渗滤液在非饱和带扩散时的初值  $C_0$  为 560mg/L。

垃圾渗滤液的扩散要分为在饱和带与非饱和带的迁移。本节主要考察渗滤液在非饱和带中扩散的深度与渗滤液浓度的关系。因此在表达式中  $x$  表示土壤深度。查阅<sup>[8]</sup>, 找到垃圾渗滤液在非饱和带中扩散的各个参数取值, 见表 4.2-1:

表 4.2-1 垃圾渗滤液在非饱和带中的扩散参数

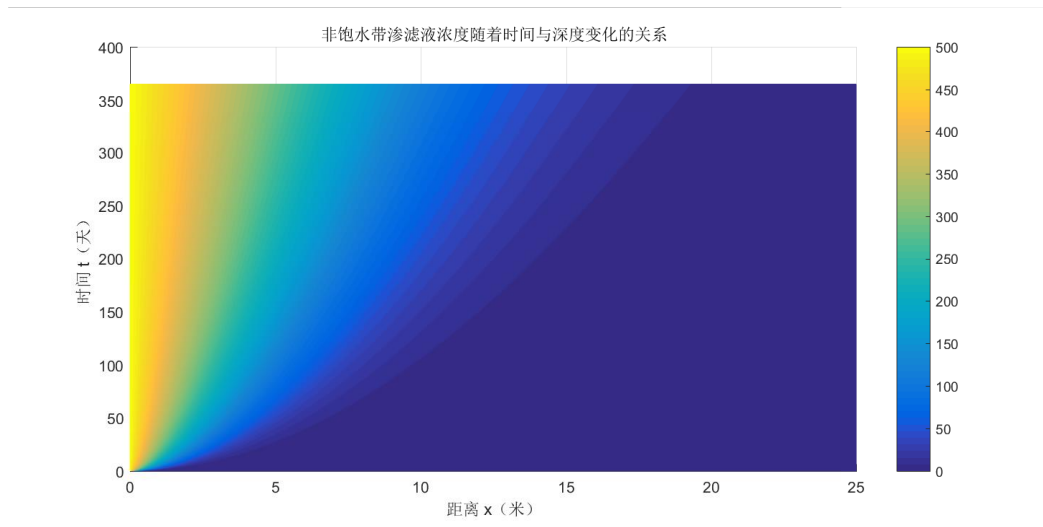
渗流流速 $u(\text{m/s})$	阻滞系数 $R$	弥散系数 $D (\text{m}^2/\text{s})$	渗滤液初始浓度 $C_0(\text{mg/L})$
2.537e-7	4.5	3.819e-6	560

。

通过解析解我们可以分别得到在渗滤液浓度与土壤深度和时间的关系, 见图 3.2-1:

饮用水 COD 值得国家标准为 3mg/L, 因此, 即使垃圾渗滤液经过处理, 一年后, 垃圾渗滤液最多可污染 21.7 米深的非饱和层地下水。但是由于深圳市是沿海城市, 其非饱和层厚度很浅, 使得渗滤液排放口与饱和层地下水距离不超过 3 米。因此当渗滤液渗透到饱和层 3 米深时会进入非饱和层地下水, 这一问题在下一节讨论。

图 4.2-1 渗滤液浓度与土壤深度和时间的关系（1）



## （2）垃圾渗滤液在饱和层的迁移

目前深圳市正在运行的垃圾焚烧厂一共三座，龙岗坪西垃圾填埋场、下坪垃圾填埋场、老虎坑垃圾填埋场。这三处填埋场的地下水结构是不同的。由参考文献<sup>[11]</sup>知，龙岗垃圾填埋场的地下水类型为岩溶水，下坪垃圾填埋场地下水类型为孔隙水，老虎坑垃圾填埋场地下水类型为裂隙水。因此查阅文献后，本节参数依照污染物在三种地下水中扩散的情况选取<sup>[15]</sup>，见表 4.2-2。

表 4.2-2 地下水污染物扩散参数选择

名称	流速 $u(m/s)$	阻滞系数 $R$	弥散系数 $D (m^2/s)$	$C_0(mg/L)$
龙岗	1.408e-4	1	1.4647e-6	373.58
下坪	1.194e-6	1	8.958e-8	373.58
老虎坑	7.333e-5	1	7.700e-5	373.58

其中 $C_0$ 是渗滤液扩散到非饱和层 3 米深时的浓度，因为当渗滤液渗透到非饱和层 3 米深时会进入饱和层地下水。

由于本节中  $u$  与  $D$  的数量级差距太大，在解析解计算时会遇到计算的困难，因此本节用 MATLAB 求模型的数值解（MATLAB 程序见附录 1）。渗滤液浓度与土壤深度和时间的关系见图 4.2-2 至 4.2-4。

图 4.2-2 龙岗渗滤液浓度与土壤深度和时间的关系 (2)

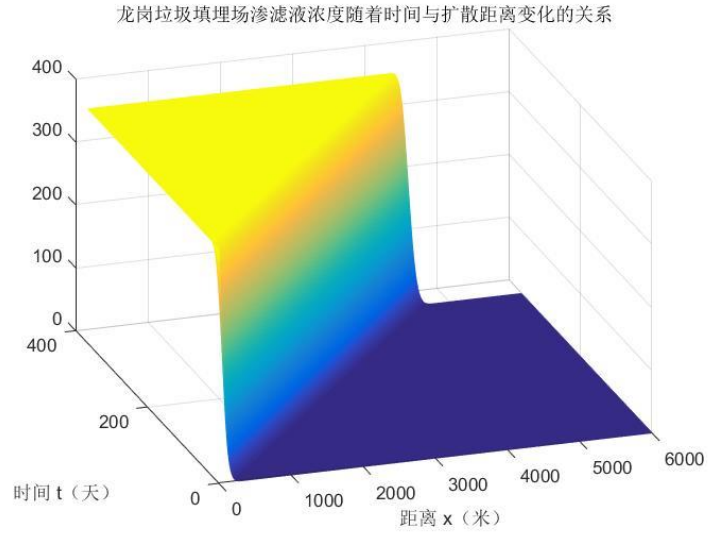


图 4.2-3 下坪渗滤液浓度与土壤深度和时间的关系 (2)

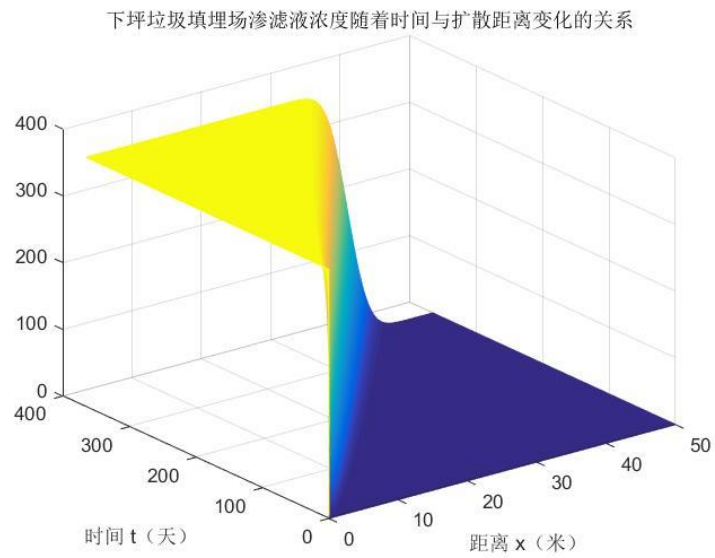
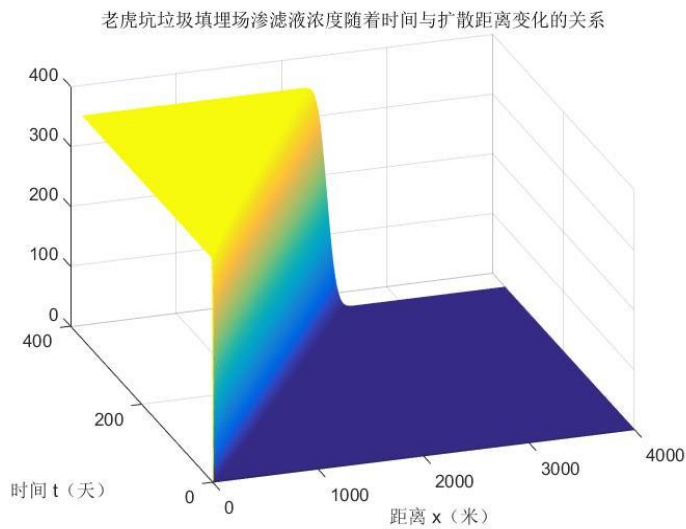


图 4.2-4 老虎坑渗滤液浓度与土壤深度和时间的关系（2）



经过一年以后，三个垃圾填埋场处地下水的渗滤液沿流速方向的扩散距离见表 3.2-2。

表 4.2-2 三座垃圾填埋场的渗滤液沿流速扩散距离

名称	沿流速扩散距离 x(m)
龙岗垃圾填埋场	4548
下坪垃圾填埋场	43.45
老虎坑垃圾填埋场	2488

考虑到水流在垂直流速的两个方向上的流速几乎为零。我们可以忽略流速在模型中的作用，通过计算得出渗滤液在垂直流速并水平、垂直流速并铅垂方向上的距离。从而计算出污染地下水体积。见表 4.2-3。

表 4.2-3 三座垃圾填埋场的渗滤液垂直流速扩散距离

名称	垂直流速并水平扩散距离 y(m)	垂直流速并铅垂扩散距离 z(m)	污染地下水体积 $V_{pollute}(m^3)$
龙岗	25.5	25.5	2957337
下坪	6.5	6.5	1835.76
老虎坑	50.0	50.0	6220000

(3) 治理成本计算



现行的地下水污染治理方法中最有效的为抽出处理方法。抽出处理技术的成本可以分为运行成本 $Oper(\text{¥/t})$ 与投资成本 $Cap(\text{¥/t})$ 。根据美国 79 个地下水抽出处理系统的数据，单位地下水的处理成本 $Oper$ 为每年每吨为 8.5 美元（折合人民币约 58.33 元），投资成本 $Cap$ 为 280 美元/t（折合人民币约 1932 元）。

深圳市三座垃圾处理厂污染的地下水体积为  $9179172.76\text{m}^3$ ，最终计算深圳市垃圾填埋场造成的地下水污染的治理成本为 182.70 亿元。

#### 4.2.3 风险分析

当一年中出现暴雨等现象时，垃圾渗滤液会未经处理直接渗入地下水，这种入渗不是连续性入渗。而是在 $t_s$ 时刻( $s$ 表示第  $s$  次暴雨)，持续 $t_p$ 时间进入地下水。其余条件与连续性入渗相同，则 $t_s$ 时刻的灾害造成的地下水垃圾渗滤液浓度增加为<sup>[8]</sup>：

$$C_s = \begin{cases} \frac{c'_0}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x-\frac{ut}{R}}{2\sqrt{\frac{Dt}{R}}}\right) - \frac{c'_0}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x-\frac{u(t-t_p)}{R}}{2\sqrt{\frac{Dt}{R}}}\right) & t \geq t_s \\ 0 & t < t_s \end{cases} \quad (4-14)$$

因此，记一年中暴雨发生次数为  $rain$ ，一年后垃圾填埋场地下水浓度变为 $C_{all}$ ：

$$C_{all} = C + \sum_{p=1}^{rain} C_p \quad (4-15)$$

##### （1）非饱和带中的扩散

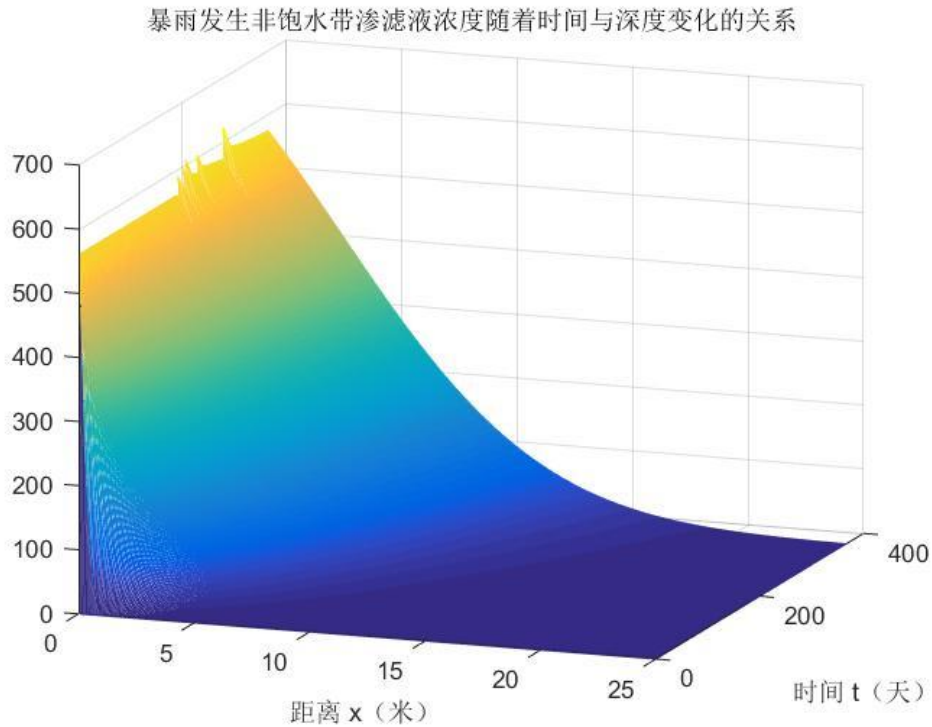
因为由于垃圾填埋场灾害使得渗滤液未经处理就渗入地下水，因此渗滤液浓度初值 $C'_0$ 取值为 5600mg/L，其他参数与 3.2.2 节选取相同。假设每次暴雨持续时间 $t_p$ 为 1 小时。查阅深圳市气象局资料，深圳市 2015 年暴雨发生日期，将暴雨发生日期换算为一年中第 1 月 1 日 0:00 点开始的第  $n$  秒，见表 3.2-4：

表 4.2-4 暴雨发生日期、时间换算、暴雨持续时间

$t_s$	日期	时间换算(s)	持续时间 $t_p$ (s)
$t_1$	2015.7.9	16416000	3600
$t_2$	2015.7.19	17280000	3600
$t_3$	2015.7.24	17712000	3600
$t_4$	2015.8.15	19612800	3600
$t_5$	2015.10.3	23846400	3600
$t_6$	2015.10.4	23932800	3600

计算出发生暴雨的情况下，垃圾填埋场渗滤液在非饱和带扩散情况见图 3.2-5：

图 4.2-5 暴雨发生后，垃圾填埋场渗滤液扩散情况



从上图可以看出，在发生持续一小时的暴雨后垃圾填埋场处非饱和层地下水中的渗滤液浓度突然升高。

(2) 饱和带中的扩散

由于暴雨的作用，渗滤液渗透到非饱和层深 3 米处的浓度大大提高，即渗滤液在饱水层扩散的渗滤液浓度的初值 $C_0$ 迅速升高。使得污染扩散距离升高。计算结果见表 3.2-5：

表 3.2-5 暴雨发生后，渗滤液在饱水层的扩散结果

名称	初值 $C_0$	沿流速扩散距离(m)	垂直流速扩散面积( $m^2$ )	污染体积( $m^3$ )
龙岗	382.38	4655.7	650.25	3027368.9
下坪	382.38	43.6	42.25	1842.1
老虎坑	382.38	2513.7	2500	6282500

因此深圳市垃圾渗滤液污染的地下水体积上升至  $9311711m^3$ ，污水治理成本上升为 185.3 亿元。由于暴雨作用而增加的治理成本为 2.6 亿元。

4.3 垃圾填埋场填埋气恶臭评价

4.3.1 模型建立

(1) 恶臭气体扩散预测

本节中的垃圾填埋气扩散类似于 3.1 节中的垃圾焚烧厂烟气扩散模型。其区别在于，垃圾焚烧厂烟气扩散为高架源，而填埋气扩散为地源模型。因此，填埋气的中恶臭物质浓度的表达式为<sup>[8]</sup>:

$$C(x,y,z)=\frac{Q}{\pi u\sigma_y\sigma_z}\exp(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}-\frac{z^2}{2\sigma_z^2})$$
 (4-16)

参数 $\sigma_y, \sigma_z$ 选择等其余情况与 3.1 中建立的模型相同。

(2) 恶臭气体浓度与恶臭强度关系

臭气物质浓度与臭气强度的关系<sup>[14]</sup>，符合下列关系式:

$$y=k\cdot\log(x)+\alpha$$
 (4-17)

其中 y 为臭气强度，无量纲，分为 0~5 六个等级见表 x。x 为恶臭物质浓度，单位为 ppm。k、α为参数，对于不同的物质二者的值是不同的。在对数坐标轴上，臭气强度与臭物质的浓度之间的关系为直线。

表 4.3-1 日本恶臭对策委员会规定的臭味强度

级别	嗅觉
0	无臭
1	勉强可感到轻微臭味（检知阈值浓度）
2	容易干感到微弱臭味（确认阈值浓度水平）
3	明显感到臭味
4	强烈臭味
5	无法忍受的强烈臭味

4.3.2 模型求解

(1) 恶臭气体扩散

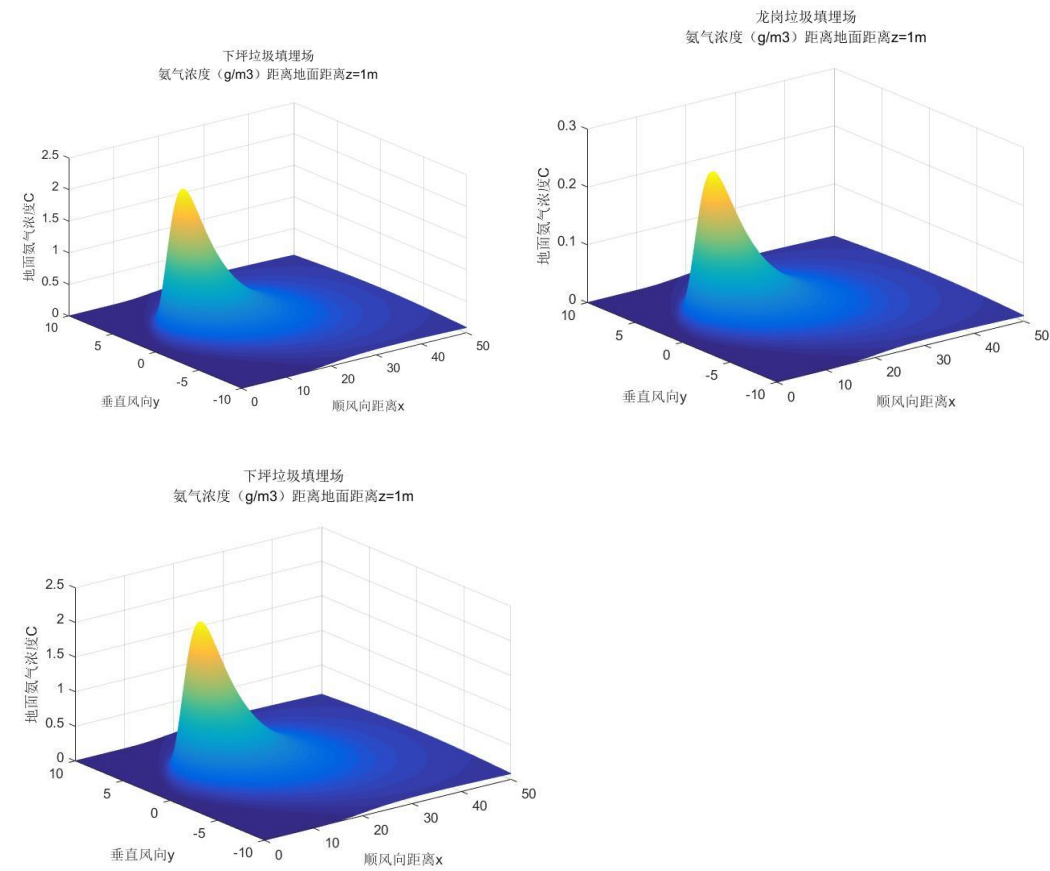
垃圾填埋气中的主要恶臭物质为 $NH_3$ 与 $H_2S$ ，其中 $H_2S$ 是可燃气体，经过垃圾填埋场火炬点燃之后会转化为水与 $SO_2$ ，不会产生臭气影响。因此本节主要考虑垃圾填埋场周围的 $NH_3$ 分布情况。从北极星环保网的采访记录得知，深圳市垃圾填埋气有 35.2%在填埋场火炬中被点燃。而从文献知<sup>[13]</sup>，垃圾填埋气中的 $NH_3$ 含量约为 1%。则深圳市三座垃圾填埋场的 $NH_3$ 源强等参数选择见表 3.2-7

表 4.3-2 深圳市填埋气的 $NH_3$ 源强

名称	填埋气产生速率( $m^3/s$ )	$NH_3$ 源强
下坪	5.57	42.27g/s
龙岗	0.636	4.82g/s
老虎坑	2.38	18.06g/s

根据三座垃圾场的污染物源强计算出垃圾填埋场火炬周围，距离地面 1m 氨气浓度分布情况，见图 4.3-1：

图 4.3-1 深圳市垃圾填埋场火炬周围氨气扩散情况



## (2) 恶臭等级评价

查阅参考文献[8]，氨气臭气强度表达式中的参数选择为  $k=1.67$ ， $\alpha=2.38$ 。计算得出垃圾填埋场火炬周围臭味等级与到火炬距离的关系见表 4.3-3-表 4.3-5：

表 4.3-3 下坪填埋场火炬周围臭味等级

到火炬距离 (m)	0~29.8	56.8~41.0	41.0~56.8	56.8~78.5	78.5~108.2	108.2~
臭气等级	5	4	3	2	1	0

表 4.3-4 龙岗填埋场火炬周围臭味等级

到火炬距离 (m)	0~9.2	0~12.8	12.8~17.6	17.6~24.4	24.4~33.6	33.6~
臭气等级	5	4	3	2	1	0

表 4.3-5 老虎坑填埋场火炬周围臭味等级

到火炬距离 (m)	0~18.8	18.8~26.0	26.0~35.8	35.8~49.6	49.6~68.4	68.4~
臭气等级	5	4	3	2	1	0

4.4.2 模式二

在垃圾产生源头即实施分类收集，垃圾在源头分为干、湿两大类。因此，收集到的垃圾相应为干、湿两大类。根据附件一，湿垃圾的比例按40%考虑，干垃圾的比例按60%考虑。则深圳市垃圾处理的环境成本可以分为填埋对地下水的影响或者焚烧的健康成本。

由于垃圾分类，焚烧厂所焚烧垃圾的热值明显升高，这使得垃圾焚烧炉温度升高到1000℃，几乎可以分解烟气中的所有二噁英。假设，当垃圾焚烧炉温度提高到1000℃以上时，二噁英产生量变为未分类前的10%。因此，深圳市各垃圾焚烧厂烟气中二噁英浓度变为未分类前的10%。

垃圾分类后，有 40%湿垃圾做生物处理。湿垃圾做生物处理后，与填埋法类似，其渗滤液会污染地下水，填埋气会造成周围恶臭。厨余垃圾渗滤液与普通垃圾渗滤液相比，其 COD 浓度普遍偏高。根据王涛[]的实验，本节取厨余垃圾渗滤液 COD 值 10360mg/L 为参考值。

表 4.4-2 模式二下垃圾焚烧的健康成本

时期	年均垃圾产生量（万吨/年）	年均垃圾焚烧量（万吨/年）	垃圾焚烧厂烟气二噁英浓度( $\mu\text{g I—TEQ}/\text{m}^3$ )	居民健康成本(亿元)
现期	572	343.2	0.001	0.601
近期	619	371.4	0.001	0.651
中期	641	384.6	0.001	0.674
远期	650	390	0.001	0.683

表 4.4-3 模式二下垃圾填埋的地下水治理成本

时期	年均垃圾产生量（万吨/年）	年均厨余垃圾处理量（万吨/年）	渗滤液 COD 值（mg/L）	地下水治理成本(亿元)
现期	572	228.8	10360	197.76
近期	619	247.6	10360	197.76
中期	641	256.4	10360	197.76
远期	650	260	10360	197.76

由于，本文模型中的地下水污染模型没有考虑垃圾日处理量与渗滤液浓度的关系。因此本节只能预测厨余垃圾生物处理后的地下水治理成本。而不能随时间预测，地下水治理成本的变化。

#### 4.4.2 模式三

模式三是在末端才通过人工分拣或垃圾压榨实现干、湿垃圾分离。因此，在末端收集到的垃圾相应为干、湿两大类。根据附件一，干湿垃圾分类比例各占 50%。从而计算出二噁英健康风险成本与地下水处理成本，见表 3.4-4。

表 4.4-3 模式三下垃圾填埋的地下水治理成本与垃圾焚烧成本

时期	年均垃圾产生量（万吨/年）	二噁英健康成本(亿元)	地下水治理成本(亿元)
现期	572	0.501	197.76
近期	619	0.542	197.76
中期	641	0.561	197.76
远期	650	0.569	197.76

## 5.成本核算

附件一中给出了四种垃圾处理模式。现状模式：混合收集+部分卫生填埋+部分焚烧；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；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；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。

本大节根据未来垃圾清运量来计算不同时期的四个模式下的垃圾处理社会总成本。各个模式下的具体核算中所用数据没有标明则来自于附件一深圳志愿者日记。未来垃圾清运量预测（不进行分类减量的前提下）见表 5-1。

表 5-1 未来垃圾清运量预测

时期	垃圾量预测（万吨）
2015 年（现期）	572
2020 年（近期）	619
2025 年（中期）	641
2030 年（远期）	650

### 5.1 现状模式的社会总成本核算

#### 5.1.1 固定成本

##### （1）垃圾处理占地成本

在现状模式下，超出现有垃圾焚烧处理能力之外的垃圾都采用填埋方式处理，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。需要填埋处理的垃圾量和填埋占地见表 5.1-1。

表 5.1-1 深圳市需填埋垃圾量与占地

时期	需填埋垃圾量（万吨）	填埋占地（公顷）
现期	358.25	22.39
近期	405.25	25.33
中期	427.25	26.70
远期	436.25	27.27

垃圾填埋能力现状：162 万吨/年，因此现状模式下，每年计划填埋占地为 10.125 公顷，若沿用现状模式，至 2030 年，为处理全市产生的生活垃圾还需提供 2.324 平方公里（232.4 平方公顷）的土地。这说明深圳必须转变垃圾处理模式，否则很快会出现“垃圾围城”的现象。

深圳目前有三座卫生填埋场，下坪固体废弃物填埋场，老虎坑卫生填埋场和龙岗坪西卫生填埋场，并需要新建一座东部填埋场，占地成本如下表 5.1-2。

表 5.1-2 深圳市垃圾填埋场的占地成本

填埋场	年处理垃圾量（万吨）	所属街区	基准地价（元/m <sup>2</sup> ）	占地成本（亿元）
下坪	105	罗湖区	500	0.3281
老虎坑	45	宝安区	300	0.084375
龙岗坪西	12	龙岗区	300	0.0225
东部新建	401.91	东部	300	0.465

注:基准地价引用：深圳市环境卫生设施系统布局规划工业用地基准地价图（单位：元/平方米）

深圳目前运营的焚烧厂有 4 座（一期二期记为一座），为南山垃圾焚烧发电厂，盐田垃圾焚烧发电厂，老虎坑垃圾焚烧发电厂和平湖垃圾焚烧发电厂，垃圾焚烧处理设施的使用寿命一般为 30 年，所以焚烧厂使用年限均按 30 年计，占地成本如下表 5.1-3。

表 5.1-3 深圳市垃圾焚烧厂占地成本

焚烧场	总占地（公顷）	所属街区	基准地价（元/m <sup>2</sup> ）	占地成本（亿元）
南山	2.371	南山区	550	0.00435
盐田	1.322	盐田区	450	0.00198
老虎坑	2.394	宝安区	300	0.00239
平湖	3.424	龙岗区	350	0.004



（2）中转站成本

1.中转站占地成本的核算方法

参照深圳市城市管理局公布的数据，深圳市全市共有垃圾转运站的数目为 965 座<sup>[17]</sup>，由于缺乏具体的有关深圳市垃圾转运站的数据，本文参考了其他地市的垃圾转运站的相关数据来估算深圳市垃圾转运站的相关成本，每个垃圾转运站的建设用地约 3000 m<sup>2</sup><sup>[18]</sup>（包括转运站主体建筑、围墙工程、室外道路硬化、站内硬化等项目用地），深圳市的工业用地基准为 300 元/m<sup>2</sup>，据此估算深圳市垃圾中转站总占地面积约为 2.9×10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>，工业用地使用年限按照五十年计算。

2.中转站建设成本核算方法：

参照其他地市的垃圾中转站建设成本，每个垃圾中转站的建设成本约为 500 万元<sup>[19]</sup>，垃圾中转站的使用年限约为 30 年<sup>[20]</sup>。

3.中转站运行维护成本：

参考相关文献垃圾转运站的运行维护费用（包括人员工资、设备维护、水电费、房屋绿化、污水及渗滤液处理但不包括垃圾运输）约为 27.68 元/吨<sup>[21]</sup>。按照上文提到的 572 万吨垃圾清运量计算。

注：估算时认为现有的垃圾转运站可以转运多出的垃圾（约比 15 年多转运 8%），故不再增加垃圾转运站的数量，因此占地成本与下文的假设成本与现期相同，不再赘述，对未来预测时只增加运维成本。

现状模式的转运站成本核算见表 5.1-4.

表 5.1-4 现状模式垃圾中转站成本（单位：亿元）

	占地成本	建设成本	运维成本	合计
现期	0.174	1.6083	1.5833	3.3656
近期	0.174	1.6083	1.7133	3.4956
中期	0.174	1.6083	1.7743	3.5566
远期	0.174	1.6083	1.7992	3.5815

（3）建设成本

填埋场的投资规模可按20元/立方米库容估算。建设成本如下见表5.1-5

表5.1-5 填埋场建设成本

填埋场	年处理垃圾量（万吨）	投资成本（亿元）
下坪	105	0.2625
老虎坑	45	0.1125
龙岗坪西	12	0.03
东部新建	401.91	1.0048

焚烧厂采用 BOT 模式，建设成本不计入。

**（4）封场成本**

当填埋场填埋作业至设计终场标高或不再受纳垃圾而停止使用时，必须实施封场工程。封场工程通常包括堆体整形与处理、填埋气体的收集与处理、封场覆盖系统、地表水控制、渗沥液收集处理系统、封场工程后续管理等方面工作。<sup>[22]</sup>但就目前的现状而言，各地的垃圾填埋场封场成本差异较大，广东省封场费用最低为 196.08 万元/公顷，而最高的封场费用可达 2576.67 万元/公顷<sup>[23]</sup>。封场费用低的原因是处理工艺较为简单，为表面简单覆土处理等。而封场费用极大提高的原因是污染控制要求高、治理后有建设生态设施或成为建设用地的需求，因此封场工程的工艺将会复杂很多，造成价格大幅度上升。鉴于深圳市是经济特区且目前深圳居民对垃圾填埋场较为敏感，建议按照高标准进行垃圾填埋场封场，在进行成本核算时，按照最高标准价格进行核算。若填埋垃圾焚烧后的灰渣，则填埋后的封场可认为简易处理即可，按照最低标准核算。按照垃圾量及焚烧和填埋的比例核算后成本见表 5.1-6：

表 5.1-6 现状模式封场成本（单位：亿元）

现期	5.8216
近期	6.5791
中期	6.9503
远期	7.0790

**5.1.2 可变成本**

**（1）收运成本**

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。因此，收运成本与运距相关。

现有的各垃圾填埋场按照现有规划的日处理量处理垃圾所需收运成本见表5.1-7。

表5.1-7 填埋场垃圾处理收运成本

填埋场	距市区平均运距（公里）	年处理垃圾量（万吨）	收运成本（亿元）
下坪	10	105	0.63
老虎坑	50	45	0.5175
龙岗坪西	45	12	0.129

现有的各垃圾焚烧场按照现有规划的日处理量处理垃圾所需收运成本见表5.1-8。

表5.1-8 焚烧厂垃圾处理收运成本

焚烧场	距市区平均运距（公里）	年处理垃圾量（万吨）	收运成本（亿元）
南山	20	24	0.168
盐田	30	13.5	0.115
老虎坑	50	126	1.449
平湖	20	50.25	0.352

假设中期在东部新增一座卫生填埋场，平均运距为40公里，超出现有垃圾处理能力的垃圾全部运往东部填埋场进行处理。则现期，近期超过处理能力的垃圾量仍运往现有填埋场超负荷处理，三座垃圾填埋场按35:15:4的比例分摊垃圾量（按照设计日处理能力之比分摊）。其中，现期超过处理能力的垃圾量196.25万吨，2020年（近期）超过处理能力的垃圾量243.25万吨，2025年（中期）超出现有处理能力的垃圾265.25万吨，2030年（远期）超出现有处理能力的垃圾274.25万吨。则新增收运成本见表5.1-8至表5.1-10。

表5.1-8 现期超出现有能力的垃圾收运成本

填埋场	收运成本（亿元）
下坪	0.763
老虎坑	0.627
龙岗坪西	0.156

表 5.1-9 近期超出现有能力的垃圾收运成本

填埋场	收运成本（亿元）
下坪	0.946
老虎坑	0.777
龙岗坪西	0.193

表 5.1-10 中期、远期超出现有能力的垃圾收运成本

时期	收运成本（亿元）
中期	2.56
远期	2.74

## （2）处理成本

### ①垃圾处理费

卫生填埋场的运行成本可按60元/吨垃圾估。目前我市垃圾焚烧厂的垃圾处理费支付标准自80~120元/吨垃圾不等，所以现期垃圾处理费按100元/吨估算，考虑到随着环保标准的提高，未来垃圾处理费的支付标准还会进一步提高，因此近期按120元/吨估算，中期按150元/吨估算，远期按180元/吨估算。全年所有焚烧厂共可处理垃圾约213.75万吨，垃圾焚烧厂处理成本见表5.1-11。全年所有垃圾填埋场处理垃圾量及处理成本见表5.1-12。

表5.1-11 垃圾焚烧厂处理成本

时期	处理成本（亿元）
现期	2.1375
近期	2.565
中期	3.20625
远期	3.8475

表 5.1-11 垃圾填埋场处理成本

时期	处理垃圾量（万吨）	处理成本（亿元）
现期	358.25	2.1495
近期	405.25	2.4315
中期	427.25	2.5635
远期	436.25	2.6175

### ② 各项补贴：

## A.南山垃圾焚烧发电厂：

### a.电价补贴

南山垃圾焚烧厂日焚烧垃圾量为 800t，发电量共计 30 万度<sup>[24]</sup>，估算其自用电量为 30%（参照深圳市其他焚烧厂的自用电量），则其焚烧垃圾日上网电量为 21 万度，每吨垃圾焚烧上网发电量为 262.5 度，未超过垃圾发电量上网限额 280 度，电价为 0.65 元/度<sup>[5]</sup>，2015 年深圳市燃煤发电上网电价为 0.4651 元/度<sup>[25]</sup>，即每度电补贴 0.1849 元，按照南山垃圾焚烧厂年焚烧垃圾量 24 万吨估算，补贴额度为 1164.87 万元。

### b.渗滤液处理补贴

深圳市垃圾焚烧厂渗滤液采用 CEDB 技术处理<sup>[26]</sup>，由于渗滤液由焚烧厂自行处理，没有补贴。出水可达污水排放标准。下文不再赘述。

### c.飞灰补贴

飞灰由焚烧厂自行承担处理，暂无补贴非用。下文不再赘述。

### d.底灰处理补贴

垃圾焚烧产生底灰量约为 20%<sup>[27]</sup>，每吨填埋成本为 60 元全额补贴，按照年焚烧量 24 万吨计算，将产生 4.8 万吨底灰，补贴额度为 288 万元，

### e.清洁生产补贴

未获取到相关数据，参考北京市焚烧模型，按照 10 万元清洁生产补贴一年计算。因此，南山垃圾焚烧厂各项补贴额度共计 1462.87 万元。

## B.盐田垃圾焚烧发电厂：

### a.电价补贴

每吨垃圾发电 300 度，80%用于上网<sup>[28]</sup>，即每吨垃圾发电上网电量为 240 度未超过 280 度的限额，按照上文提到的 13.5 万吨的年焚烧量计算，共计年上网电量为 3240 万度，每度电补贴 0.1849 元，共计 600 万元。

### b.底灰处理补贴

按照 20%的底灰产生量计算，13.5 万吨垃圾焚烧将产生 2.7 万吨底灰，每吨填埋成本为 60 元全额补贴，补贴额度为 162 万元。

### c.清洁生产补贴

补贴额度为 10 万元一年。

因此，盐田垃圾焚烧厂各项补贴额度共计 772 万元。

### C. 老虎坑垃圾焚烧发电厂：

#### a. 电价补贴

宝安老虎坑垃圾焚烧发电厂日发电量 170 万度<sup>[29]</sup>，处理垃圾 4200 吨，按照 2/3 的上网电量计算<sup>[30]</sup>，每吨垃圾焚烧上网的电量为 269.84 度，未超过 280 度每吨的限额，焚烧厂年处理垃圾量为 126 万吨，每度补贴电价为 0.1849 元，补贴额度为 6286.57 万元。

#### b. 底灰处理补贴

按照 20% 的底灰产生量计算，126 万吨垃圾焚烧将产生 25.2 万吨底灰，每吨填埋成本为 60 元全额补贴，补贴额度为 1512 万元。

#### c. 清洁生产补贴

补贴额度为 10 万元一年。

因此，宝安老虎坑垃圾焚烧发电厂各项补贴额度共计 7808.57 万元。

### D. 平湖垃圾焚烧厂一厂、二厂：

#### a. 电价补贴

由于未查询到相关数据，计算过程将参照垃圾处理量与上文中其他垃圾焚烧厂的单位垃圾发电量来计算，参考上文估算每吨垃圾上网发电量为 260 度，按照年处理量 50.25 万吨，每度电补贴电价 0.1849 元计算，电价年补贴额度为 2415.72 万元。

#### b. 底灰处理补贴

按照 20% 的底灰产生量计算，50.25 万吨垃圾焚烧将产生 10.05 万吨底灰，每吨填埋成本为 60 元全额补贴，补贴额度为 603 万元。

#### c. 清洁生产补贴

补贴额度为 10 万元一年。

因此，平湖垃圾焚烧发电厂各项补贴额度共计 3028.72 万元。

### E. 下坪填埋场：

#### a. 填埋气发电电价补贴

当前垃圾填埋场的填埋气的主要处理方式点燃、发电、制取天然气，由于填埋气制取天然气项目目前尚未完全推广，无法获取到政府关于垃圾填埋气制天然气的补贴政策，并且目前垃圾填埋气的主要回收利用方式为燃烧发电，为了方便估算，本文有关垃圾填埋气的补贴计算时统一认为所有填埋场利用填埋气的方式都是用来燃烧发电。下坪填埋厂每

小时产 17000 m<sup>3</sup> 填埋气中，有 6000 m<sup>3</sup> 用于发电，5000 m<sup>3</sup> 用于提纯，6000 m<sup>3</sup> 在填埋场火炬被点燃。日发电量 22 万度<sup>[31]</sup>，日处理垃圾 4500 吨。假设上述 5000m<sup>3</sup> 的填埋气也用于发电，按照比例折算将增加日发电量 18.3 万度，折算下坪填埋场日发电量共计 40.3 万度，即 90 度每吨，远小于 280 度每吨的限额，按照下坪填埋场的年处理量 105 万吨，每度电补贴 0.1849 元，补贴额度为 1747.3 万元。

**b. 渗滤液处理补贴**

渗滤液由填埋场自行处理，暂无补贴。

**c. 清洁生产补贴**

补贴额度为 10 万元一年。

因此，下坪垃圾填埋场各项补贴额度共计 3028.72 万元。

**F. 老虎坑卫生填埋场：**

**a. 填埋气发电电价补贴**

年垃圾填埋量 45 万吨，因无法获取其他有效数据，按照上文的数据与垃圾量按比例进行估算补贴额度，得出电价补贴额度为 748.84 万元。

**b. 清洁生产补贴**

补贴额度为 10 万元一年。

因此，老虎坑卫生填埋场各项补贴额度共计 758.84 万元。

**G. 坪西垃圾卫生填埋场：**

**a. 电价补贴**

年垃圾填埋量 12 万吨，因无法获取其他有效数据，按照上文的数据与垃圾量按比例进行估算补贴额度，得出电价补贴额度为 200 万元。

**b. 清洁生产补贴**

补贴额度为 10 万元一年。

因此，老虎坑卫生填埋场各项补贴额度共计 210 万元。

**H. 超出设计运行能力的补贴**

超出部分按照填埋处理，因不再增加清洁生产补贴，所以只计算电价补贴，参照上文计算过程，每吨垃圾填埋处理的填埋气能发电 90 度，每度电补贴 0.1849 元。

按照上文所述计算方式，现状补贴成本核算结果见表 5.1-12。

表 5.1-12 现状模式补贴成本（单位：亿元）

	电价补贴	底灰处理补贴	其他补贴	合计
现期	1.6429	0.2565	0.008	1.9074
近期	1.7211	0.2565	0.008	1.9856
中期	1.7577	0.2565	0.009	2.0232
远期	1.7727	0.2565	0.009	2.0382

③税收减免：

A. 焚烧发电

全年焚烧厂共可处理垃圾约 213.75 万吨，平均发电量 260 千瓦时/吨，标杆电价 0.65 元/千瓦时，电力、燃料的增值税税率为 17%。所以焚烧发电的税收减免为 0.6141 亿

B. 再生水

根据一般垃圾压榨脱水设备的性能，对未分类垃圾认为脱水率为 20%，深圳工业用水单价为 4.4 元/吨（自来水单价 3.35 元/吨，污水处理费 1.05 元/吨），水的增值税税率为 13%。所以再生水税收减免为 0.0025 亿

现期，近期，中期，远期焚烧垃圾量相同，因此四个时期总税收减免均为 0.6166 亿。

5.1.3 间接成本

（1）健康损失

健康损失为垃圾焚烧厂排放的烟气中的二噁英对居民健康的损害。计算方式在第 4 大节已经给出，本节只列出计算结果，见表 5.1-13。

表 5.1-13 现状模式二噁英居民健康风险成本

时期	二噁英健康风险成本（亿元）
现期	5.69
近期	6.16
中期	6.38
远期	6.47



（2）环境污染

由于本文模型未能考虑到垃圾渗滤液与垃圾日处理能力的变化关系，因此在垃圾渗滤液 COD 值一定的情况下，深圳市四个时期的地下水污染处理成本相同，均为 182.70 亿元。

（3）物业价值下降

参考前文的文献查阅结果，垃圾处理厂的存在将会使周围 3.2 公里的房价下降 6%，计算时地价采用各区的住宅用地的基准地价（垃圾处理厂主要影响住宅地价），实际地价要高于此价格。深圳市总面积为 1996.85 平方公里，2015 年深圳市土地出让面积为 13.30 万平方<sup>[32]</sup>。按照比例估算受影响范围面积。

深圳市八个垃圾处理厂共集中在 6 处，由于南山焚烧厂周围一半靠海，老虎坑一侧是东莞市，影响范围按照 5 个半径为 3.2 公里的圆测算。深圳市受垃圾处理厂影响的土地面积约为 160.768 平方公里，按比例估算受影响范围内的土地出让面积为 10707.94 m<sup>2</sup>（对未来进行预测时假设此数值不变化），根据中国地价网的统计数据，2015 年深圳市住宅用地地价平均水平为 42200 元/m<sup>2</sup>，近十年来珠三角地区的住宅用地土地价格增长率的平均值为 10.27%。据此计算该项成本见表 5.1-14。

表 5.1-14 现状模式物业价值下降成本（单位：亿元）

时期	物业价值下降成本
现期	0.27212
近期	0.4420
中期	0.8410
远期	1.3709

5.1.4 核算结果

1）现期成本核算结果。

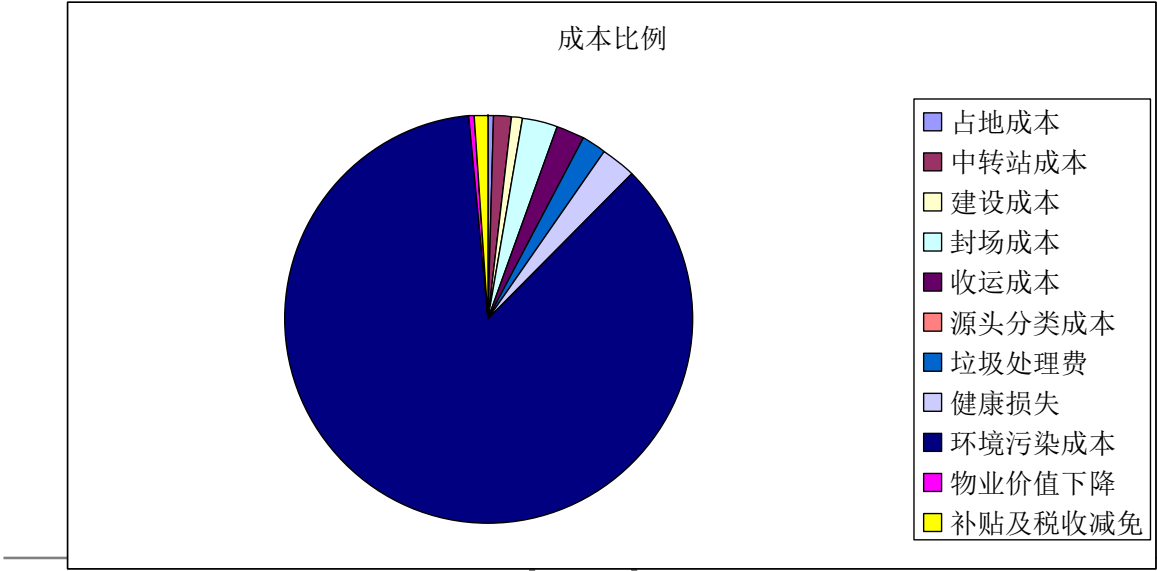
现状模式的近期核算结果见表 5.1-15，成本比例见表 5.1-16、5.1-17。

表 5.1-15 现状模式近期成本核算结果

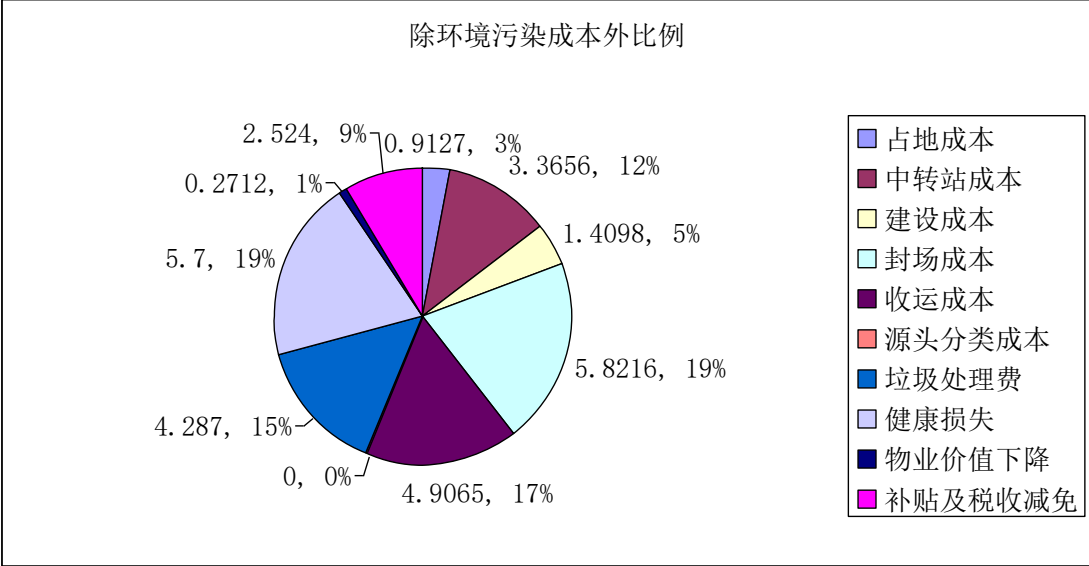
类别	项目	计算结果（单位：亿元）
固定成本	占地成本	0.9127

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
可变成本	中转站成本	3.3656
	建设成本	1.4098
	封场成本	5.8216
	收运成本	4.9065
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	4.2870
	电价补贴	1.6429
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.2565
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.008
	税收减免	0.6166
	健康损失	5.70
间接成本	环境污染成本	182.70
	物业价值下降	0.2712
总成本		211.846

5.1-16 现期现状处理模式成本比例



5.1-17 现期现状处理模式除环境污染成本外比例



2) 近期成本核算结果

现状模式的近期核算结果见表 5.1-18。

表 5.1-18 近期现状模式成本核算结果

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
固定成本	占地成本	0.9127
	中转站成本	3.4956
	建设成本	1.4098
	封场成本	6.5791
可变成本	收运成本	5.2765
	源头分类成本	0

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
	垃圾处理费	4.9965
	电价补贴	1.7211
	渗沥液补 贴	0
	底灰处理 补贴	0.2565
	飞灰处理 补贴	0
	其他补贴	0.008
	税收减免	0.6166
间接成本	健康损失	6.17
	环境污染成本	182.70
	物业价值下降	0.4420
总成本		214.532

### 3) 中期成本核算结果

现状模式的中期核算结果见表 5.1-19。

表 5.1-19 中期现状模式成本核算结果

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
固定成本	占地成本	0.9127
	中转站成本	3.5566
	建设成本	1.4098
	封场成本	6.9503
可变成本	收运成本	6.0105
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	5.7698
	电价补贴	1.7577
	渗沥液补 贴（W）	0
	底灰处理 补贴	0.2565
	飞灰处理 补贴	0

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
间接成本	其他补贴	0.009
	税收减免	0.6166
	健康损失	6.39
	环境污染成本	182.70
	物业价值下降	0.8410
总成本		217.1099

#### 4) 远期成本核算结果

现状模式的远期核算结果见表 5.1-20。

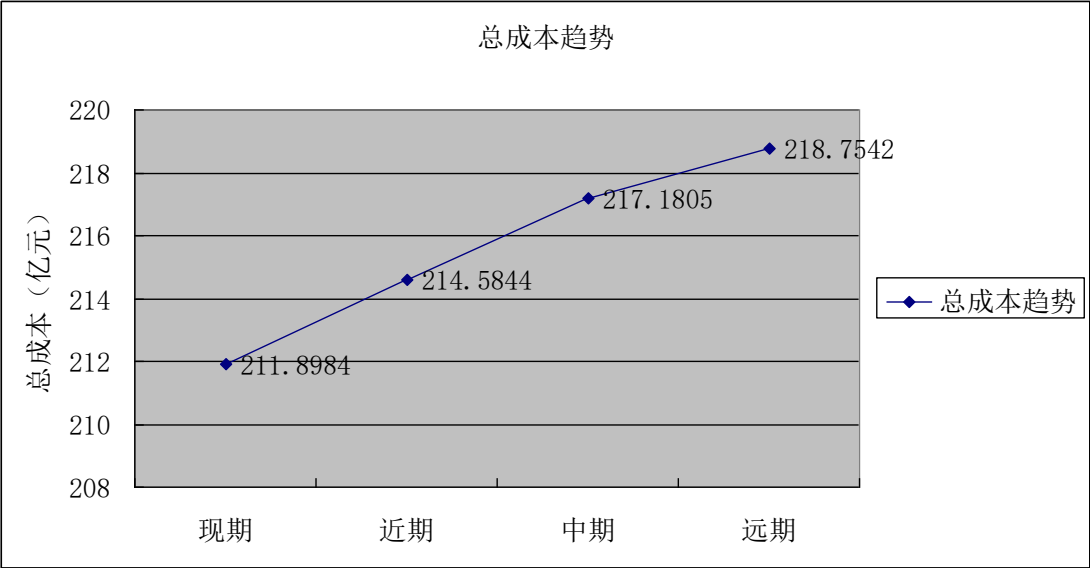
表 5.1-20 远期现状模式成本核算结果

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
固定成本	占地成本	0.9127
	中转站成本	3.5815
	建设成本	1.4098
	封场成本	7.0790
可变成本	收运成本	6.1005
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	6.465
	电价补贴	1.7727
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.2565
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.009
	税收减免	0.6166
	健康损失	6.48
间接成本	环境污染成本	182.70
	物业价值下降	1.3709
总成本		218.7018

5) 不同时期总成本变化趋势

不同时期总成本变化趋势见表 5.1-21。

表 5.1-21 现状模式不同时期总成本变化趋势



6) 不同时期各项成本比例变化

现状处理模式不同时期各项成本比例变化趋势见表 5.1-22、5.1-23。

表 5.1-22 现状处理模式不同时期各项成本比例变化趋势(1)

不同时期的各项成本比例变化  
1,2,3,4分别代表四个时期

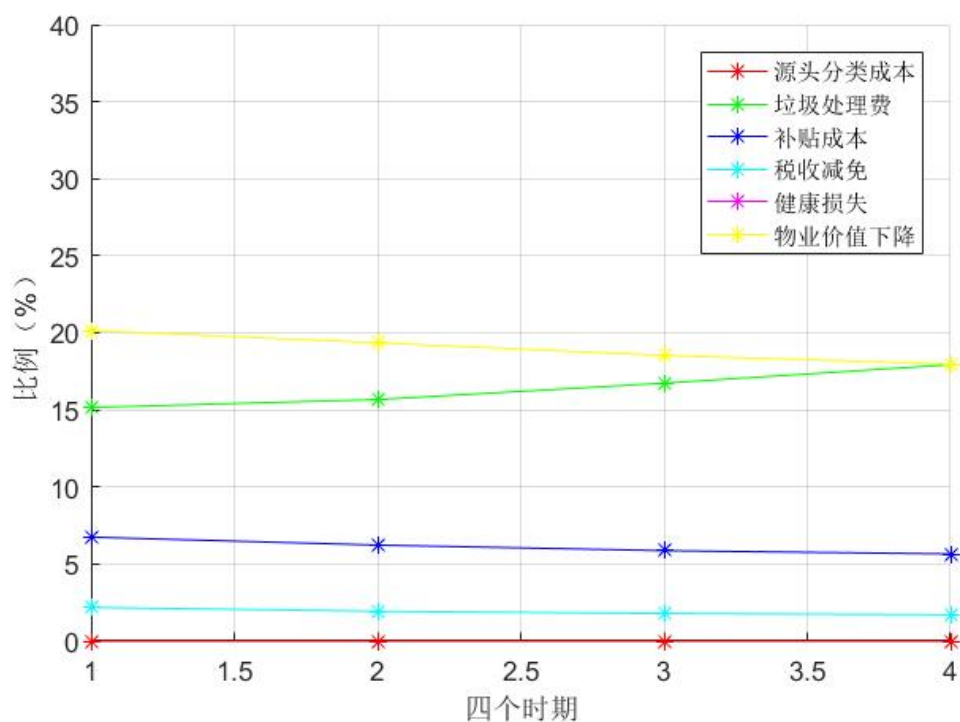
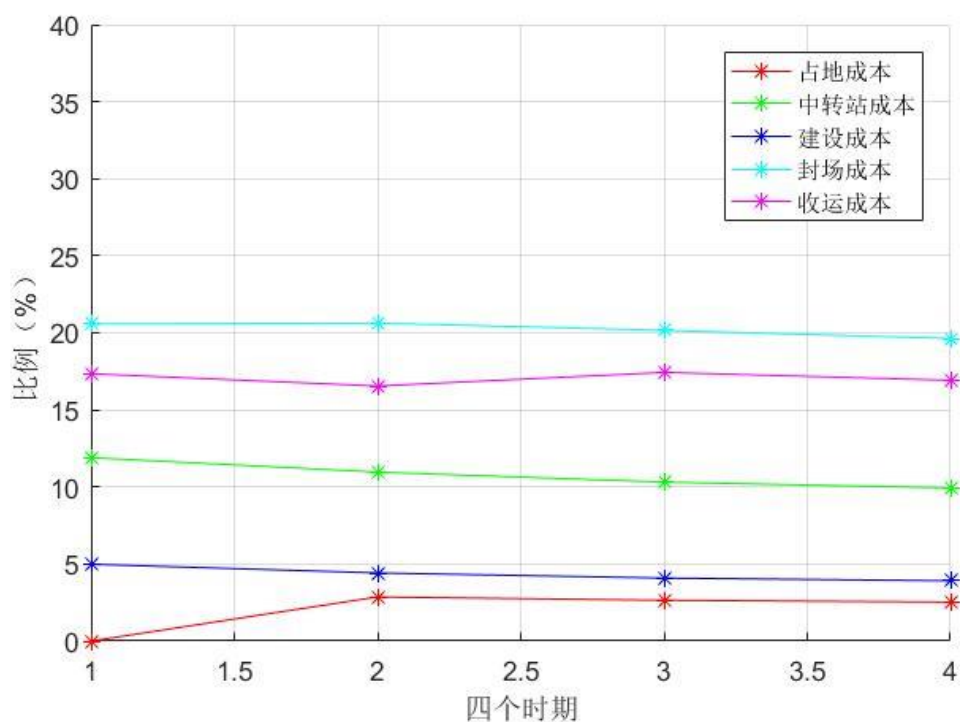


表 5.1-23 现状处理模式不同时期各项成本比例变化趋势(2)

现状下不同时期的各项成本比例变化  
1,2,3,4分别代表四个时期



比例分析：对于现状处理模式，税收减免、封场成本、收运成本、建设成本所占比例变化不明显；补贴成本、物业价值下降成本、中转站成本所占比例有所下降，垃圾处理费所占成本一直有所上升；占地成本从现期到近期有所上升，后保持平稳。

### 5.1.5 单位垃圾处理成本

本节计算现状模式的垃圾处理的单位成本，见表 5.1-17.

表 5.1-17 现状模式的社会总成本核算

时期	单位社会总成本（亿元/万吨）	除地下水治理成本的单位社会总成本（亿元/万吨）
现期	0.3704	0.0510
近期	0.3466	0.0514
中期	0.3387	0.0537
远期	0.3365	0.0554

## 5.2 模式一的社会总成本核算

### 5.2.1 固定成本

#### （1）占地成本

模式一以焚烧为主，现在采用填埋方式处理的垃圾全部改用焚烧方式处理。各现有焚烧发电厂占地成本与现状模式相同，超出现有焚烧处理能力的垃圾量为见表 5.2-1。

表 5.2-1 超出现有焚烧处理能力的垃圾量

时期	超出现有焚烧能力垃圾量（万吨）
现期	358.25
近期	405.25
中期	427.25
远期	436.25

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，按照 40 平方米/吨估算。新建垃圾焚烧厂所需土地



面积 0.54656 平方公里，垃圾焚烧处理设施的使用寿命一般为 30 年，因此新建焚烧厂寿命按 30 年计算，工业用地基准地价 300 元/平方米，占地成本 0.054656 亿

垃圾焚烧后产生的灰渣体积约为原来的10~15%。不考虑灰渣填埋的用地需求，至 2030年处理这些垃圾仅需额外用地54.656公顷。灰渣可以运往现有的卫生填埋场进行填埋，不需额外占地，且由于焚烧灰渣物化性质稳定且不臭，灰渣填埋场的选址相比卫生填埋场的选址要容易得多，即使若干年后当前垃圾填埋场封场，也便于新建，且焚烧灰渣还可以通过循环利用的方式重新用于城市建设活动。所以焚烧模式是解决垃圾围城的可行之道。

因为填埋场在现期近期仍在使用，且要用于灰渣填埋，所以现有填埋场占地也要计入，与现状模式相同。

**(2) 中转站成本**

模式一的中转站成本同现状模式，不再赘述，核算结果见表 5.2-2：

表 5.2-2 模式一垃圾中转站成本（单位：亿元）

	占地成本	建设成本	运维成本	合计
现期	0.174	1.6083	1.5833	3.3656
近期	0.174	1.6083	1.7133	3.4956
中期	0.174	1.6083	1.7743	3.5566
远期	0.174	1.6083	1.7992	3.5815

**(3) 建设成本**

填埋场的投资规模可按20元/立方米库容估算。填埋场建设成本见表5.2-3。

表5.2-3 填埋场建设成本

填埋场	年处理垃圾量（万吨）	投资成本（亿元）
下坪	105	0.2625
老虎坑	45	0.1125
龙岗坪西	12	0.03

垃圾焚烧厂采用BOT方式建设，政府的投资成本可视为0。

**(4) 封场成本**

全量焚烧后下，只考虑填埋灰渣的封场成本，单位垃圾量成本为 196.08 元/公顷，封场成本见表 5.2-4。

表 5.2-4 模式一封场成本（单位：亿元）

时期	封场成本
现期	0.1402
近期	0.1516
中期	0.1571
远期	0.1593

5.2.2 可变成本

（1）收运成本

我们假设中期新建焚烧厂可以使用，，则现期和近期只能与按照现状处理模式处理，收运成本计算方法与现状模式基本相同。中期，远期送往规划新建焚烧厂，平均运距按 40 公里考虑。各时期收运成本见表 5.2-5.

表 5.2-5 各时期收运成本

时期	收运成本（亿元）
现期	4.9065
近期	5.2765
中期	6.0105
远期	6.1005

（2）处理成本

①垃圾处理费

现期，近期与现状相同，中期与远期新建垃圾焚烧厂处理垃圾量和处理费用如下表，和现有焚烧厂处理费用求和就得到中期远期总处理费用见表5.2-6。

表5.2-6 新建垃圾焚烧厂处理量与处理费

时期	新建焚烧厂处理垃圾 量（万吨）	新建焚烧厂处理费 （亿元）	总处理费（亿元）
中期	427.25	6.41	9.61

远期	436.25	7.9	11.75
----	--------	-----	-------

## ②各项补贴:

超出设计处理能力的垃圾全部焚烧处理，焚烧处理的补贴主要考虑电价补贴和底灰补贴，其余核算细节见上文现状模式。核算结果见表 5.2-7。

表 5.2-7 模式一补贴成本（单位：亿元）

	电价补贴	底灰处理补贴	其他补贴	合计
现期	2.7690	0.6864	0.008	3.4634
近期	2.9949	0.7428	0.008	3.7457
中期	3.1007	0.7692	0.009	3.8789
远期	3.1439	0.7800	0.009	3.9323

## ③ 税收减免:

A.现期，近期焚烧垃圾量与现状相同，因此税收减免与现状相同。

B.中期

a.焚烧发电

中期全年现有焚烧厂处理 213.75 万吨，新建焚烧厂处理 427.25 万吨，共 641 万吨，所以焚烧发电的税收减免为 1.8416 亿

b.再生水

再生水税收减免为 0.0075 亿

C.远期

a.焚烧发电

远期全年现有焚烧厂处理 213.75 万吨，新建焚烧厂处理 436.25 万吨，共 650 万吨，所以焚烧发电的税收减免为 1.8720 亿。

b.再生水

再生水税收减免为 0.0076 亿

## 5.2.3 间接成本

### (1) 健康损失

模式二，采用焚烧作为最主要的垃圾处理方式，卫生填埋场仅作为焚烧灰渣和飞灰的处置场所，而不允许原生垃圾进入卫生填埋场。因此本模式下，全市年均垃圾产生量与年均垃圾焚烧量几乎相等。本节着重考察垃圾焚烧厂烟气对周围居民健康的影响。

假设实行模式一时深圳市未新建垃圾焚烧厂。则根据深圳市现期、近期、中期、远期年均垃圾产生量，可以计算出居民健康成本

表 5.2-8 模式一下垃圾焚烧的健康成本

时期	年均垃圾焚烧量（万吨/年）	居民健康成本(亿元)
现期	572	10.02
近期	619	10.84
中期	641	11.23
远期	650	11.39

### （2）环境污染

模式一下，可以认为垃圾填埋厂的日处理量变为原来的 10%，而飞灰所产生的垃圾渗滤液与填埋气几乎可以忽略不计，因此垃圾填埋所产生的对环境影响几乎可以忽略。

### （3）物业价值下降

由于填埋场只处理焚烧底灰，几乎不对周围产生影响，因此忽略填埋场的影响。中期新建一座焚烧厂，其余核算细节见上文现状模式核算。核算结果见表 5.2-8。

表 5.2-9 模式一物业价值下降成本（单位：亿元）

时期	物业价值下降成本
现期	0.1809
近期	0.2948
中期	0.6007
远期	0.9792

## 5.2.4 核算结果

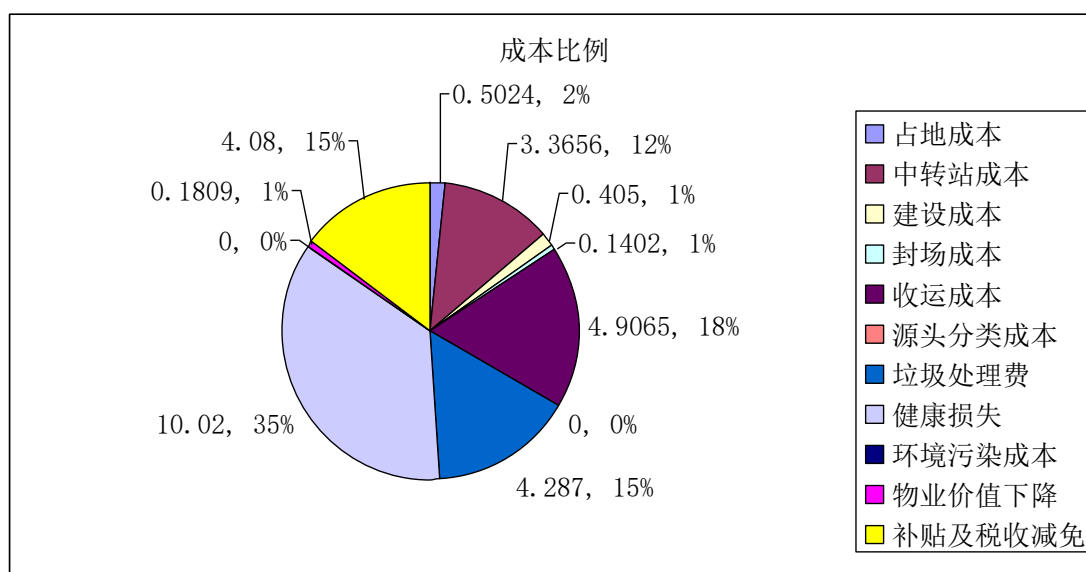
### 1) 现期成本核算结果。

模式一的近期核算结果见表 5.2-10，成本比例见表 5.2-11。

表 5.2-10 模式一近期成本核算结果

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
固定成本	占地成本	0.5024
	中转站成本	3.3656
	建设成本	0.4050
	封场成本	0.1402
可变成本	收运成本	4.9065
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	4.2870
	电价补贴	2.7690
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.6864
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.008
	税收减免	0.6166
	健康损失	10.02
间接成本	环境污染成本	0
	物业价值下降	0.1809
总成本		28.1572

5.2-11 现期模式一成本外比例



## 2) 近期成本核算结果

模式一的近期核算结果见表 5.2-12。

表 5.2-12 近期模式一成本核算结果

类别	项目	计算结果(单位: 亿元)
固定成本	占地成本	0.5024
	中转站成本	3.4956
	建设成本	0.4050
	封场成本	0.1516
可变成本	收运成本	5.2765
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	4.9965
	电价补贴	2.9949
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.7428
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.008
	税收减免	0.6166
	健康损失	10.84
间接成本	环境污染成本	0
	物业价值下降	0.2948
总成本		30.5943

## 3) 中期成本核算结果

模式一的中期核算结果见表 5.2-13。

表 5.2-13 中期模式一成本核算结果

类别	项目	计算结果(单位: 亿元)
固定成本	占地成本	0.5024

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
可变成本	中转站成本	3.5566
	建设成本	0.4050
	封场成本	0.1571
	收运成本	6.0105
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	9.61
	电价补贴	3.1007
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.7692
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.009
	税收减免	1.8491
	健康损失	11.23
	环境污染成本	0
间接成本	物业价值下降	0.6007
	总成本	38.0609

#### 4) 远期成本核算结果

模式一的远期核算结果见表 5.2-14。

表 5.2-14 远期模式一成本核算结果

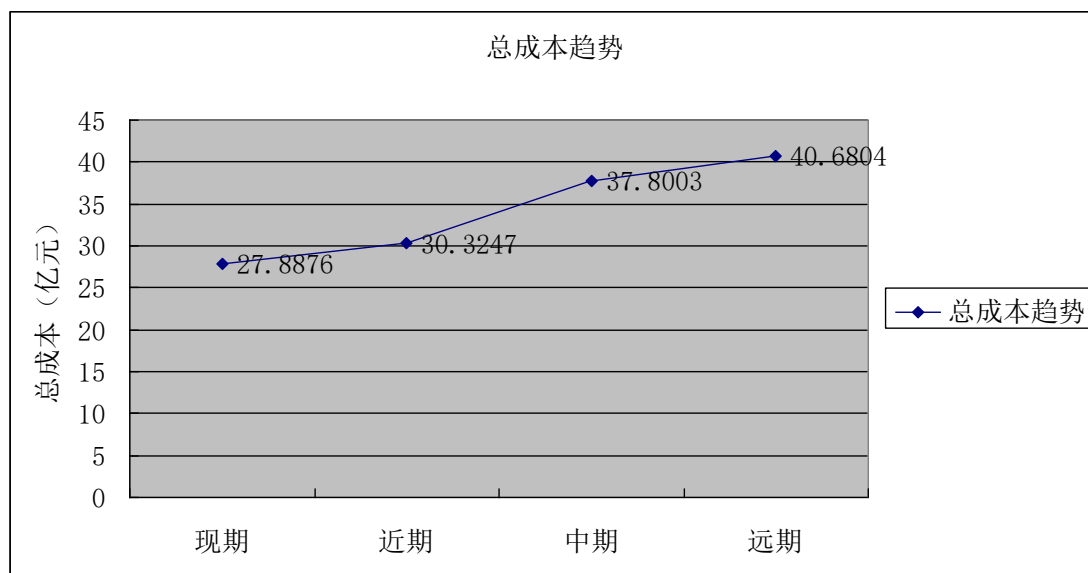
类别	项目	计算结果（单位：亿元）
固定成本	占地成本	0.5024
	中转站成本	3.5815
	建设成本	0.4050
	封场成本	0.1593
	收运成本	6.1005
可变成本	源头分类成本	0

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
	垃圾处理费	11.75
	电价补贴	3.1439
	渗沥液补贴	0
补贴	底灰处理补贴	0.78
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.009
	税收减免	1.8796
	健康损失	11.39
间接成本	环境污染成本	0
	物业价值下降	0.9792
总成本		40.95

#### 5) 不同时期总成本变化趋势

不同时期总成本变化趋势见表 5.2-15。

表 5.2-15 模式一不同时期总成本变化趋势



#### 6) 不同时期各项成本比例变化

模式一不同时期各项成本比例变化见表 5.2-16、5.2-17。

表 5.2-16 模式一不同时期各项成本比例变化 (1)



不同时期的各项成本比例变化  
1,2,3,4分别代表四个时期

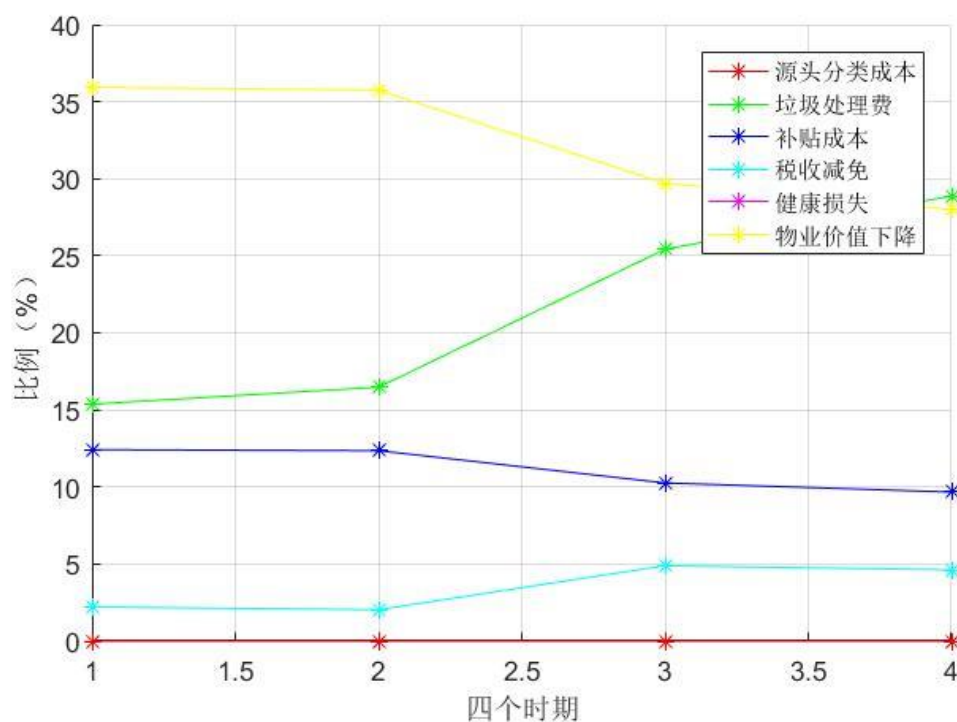
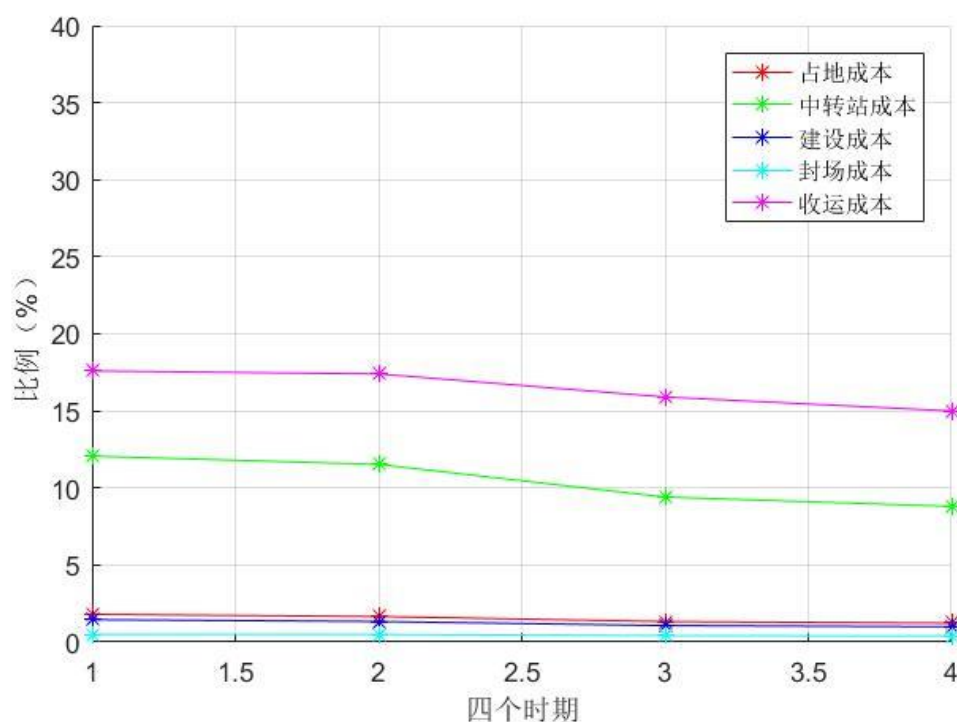


表 5.2-17 模式一不同时期各项成本比例变化 (2)

模式一不同时期的各项成本比例变化  
1,2,3,4分别代表四个时期



比例分析：模式一下，垃圾处理费、税收减免随着时间的增加而增加；物业价值下降、补贴成本、收运成本、中转站成本；其他成本保持平稳，几乎无变化。

### 5.2.5 单位垃圾处理成本

本节计算模式一的垃圾处理的单位成本，见表 5.2-17.

表 5.2-17 模式一 b 的社会总成本核算

时期	单位社会总成本（亿元/万吨）	除地下水治理成本的单位社会总成本（亿元/万吨）
现期	0.0492	0.0492
近期	0.0494	0.0494
中期	0.0596	0.0596
远期	0.0630	0.0630

## 5.3 模式二的社会总成本核算

### 5.3.1 固定成本

#### （1）占地成本

模式二是在垃圾产生源头即实施分类收集，垃圾在源头分为干、湿两大类。因此，收集到的垃圾相应为干、湿两大类，考虑到居民参与分类收集的积极性和垃圾投放的准确度，湿垃圾的比例按40%考虑，干垃圾的比例按60%考虑。

干垃圾采用焚烧方式处理，用地规模参照模式一根据未来垃圾清运量预测超出现有焚烧能力的干垃圾量见表 5.3-1。

表 5.3-1 超出现有焚烧能力的干垃圾量

时期	未来干垃圾量预测（万吨）	超出现有焚烧能力的干垃圾量（万吨）
现期	343.2	129.45
近期	371.4	157.65
中期	384.6	170.85
远期	390	176.25

为了计算年均占地成本，计算出超出现有焚烧能力的干垃圾年平均量为 160.45 万吨，日平均量为 0.535 万吨，根据《生活垃圾焚烧处理工程项目建设标准（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，按照 40 平方米/吨估算。新建垃圾焚烧厂所需土地面积 0.2139 平方公里，垃圾焚烧处理设施的使用寿命一般为 30 年，因此新建焚烧厂寿命按 30 年计算，工业用地基准地价 300 元/平方米，占地成本 0.021393 亿

湿的部分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，在此按 70 平方米/吨估算。

湿垃圾量预测：

时期	未来湿垃圾量预测 (万吨)
现期	228.8
近期	247.6
中期	256.4
远期	260

年平均：249.47 万吨，日平均：0.832 万吨，占地面积 0.582 平方公里，假设使用年限为 30 年，工业用地基准地价为 300 元/平方米，占地成本为 0.0582 亿  
所以综合看模式二需额外用地为 79.59 公顷

同模式一，由于填埋场现期近期仍在使⽤，且要用于灰渣填埋，所以占地成本应该计入。

## （2）中转站成本

同现状模式，不再赘述，核算方式见上文，核算结果如下表 5.3-2。

表 5.3-2 模式二垃圾中转站成本（单位：亿元）

	占地成本	建设成本	运维成本	合计
现期	0.174	1.6083	1.5833	3.3656
近期	0.174	1.6083	1.7133	3.4956
中期	0.174	1.6083	1.7743	3.5566
远期	0.174	1.6083	1.7992	3.5815

### （3）建设成本

填埋场建设成本同模式一。垃圾焚烧厂和生物处理厂都采用 BOT 方式建设，政府的投资成本可视为 0。

### （4）封场成本

主要核算湿垃圾和干垃圾灰渣填埋的封场成本，核算方法见上文现状模式，核算结果如下表 5.3-3。

表 5.3-3 模式二封场成本（单位：亿元）

时期	封场成本
现期	3.7687
近期	4.0784
中期	4.2233
远期	4.2827

## 5.3.2 可变成本

### （1）收运成本

现期，近期收运成本与现状相同，中、远期收运成本按40%的垃圾运入厨余垃圾处理设施（运距10公里）、60%的垃圾运入垃圾焚烧厂，厨余垃圾处理设施就近，运距不会超过10公里。

现有垃圾焚烧厂按照规划的处理能力焚烧垃圾，收运成本如模式一。

根据未来垃圾清运量预测，超出处理能力的干垃圾运往新建焚烧厂，平均运距 40 公里，湿垃圾就近处理，运距少于十公里，收运成本见表 5.3-4。

表 5.3-4 收运成本

时期	超出处理能力的干垃圾收运成本（亿元）	湿垃圾收运成本（亿元）	总收运成本（亿元）
中期	1.7085	1.5384	5.3309
远期	1.7625	1.56	5.4065

### （2）源头分类成本

根据《深圳市住宅小区垃圾减量分类启动补贴和减量补贴管理暂行办法》，源头分类收集的补贴标准约为 423 元/吨。源头分类考虑自 2021 年起全面执行，即现期，近期与现状相同，中期，远期实施分类处理。垃圾产生量 2020 年（近期）619 万吨、2025 年（中期）641 万吨、2030 年（远期）650 万吨，平均 637.75 万吨，厨余垃圾预计可分离的比例约为垃圾总量的 40%。因此，源头分类补贴垃圾量为 255.1 万吨，年成本约为 10.79 亿元。

### （3）处理成本

#### ①垃圾处理费

现期，近期与现状相同，中期与远期现有焚烧厂处理成本与现状及模式一相同，同时新建焚烧厂处理干垃圾，并且湿垃圾生物处理，垃圾处理费见表5.3-5.

表5.3-5 垃圾处理费

时期	新建焚烧厂垃圾 处理费（亿元）	湿垃圾处理费 （亿元）	总垃圾处理费 （亿元）
中期	2.56275	3.846	9.615
远期	3.1725	3.9	10.92

#### ②各项补贴：

焚烧考虑电价补贴和底灰补贴，填埋考虑电价补贴，具体核算方式见上文现状模式补贴核算。核算结果如下表 5.3-6：

表 5.3-6 模式二补贴成本（单位：亿元）

	电价补贴	底灰处理补贴	其他补贴	合计
现期	2.1924	0.4118	0.008	2.6122
近期	2.3713	0.4457	0.008	2.825
中期	2.4221	0.4615	0.009	2.8926
远期	2.452	0.468	0.009	2.929

#### ④ 税收减免：

A.现期，近期焚烧垃圾量与现状相同，因此税收减免与现状相同

B.中期，

a.焚烧发电

中期全年现有焚烧厂处理 213.75 万吨，新建焚烧厂处理 170.85 万吨，共 384.6 万吨，所以焚烧发电的税收减免为 1.1050 亿。

b.再生水

再生水税收减免为 0.0045 亿。

C. 远期

a.焚烧发电

远期全年现有焚烧厂处理 213.75 万吨，新建焚烧厂处理 176.25 万吨，共 390 万吨，所以焚烧发电的税收减免为 1.1232 亿。

b.再生水

再生水税收减免为 0.0046 亿。

5.3.3 间接成本

(1) 健康损失

由于垃圾分类，焚烧厂所焚烧垃圾的热值明显升高，这使得垃圾焚烧炉温度升高到 1000℃，几乎可以分解烟气中的所有二噁英。假设，当垃圾焚烧炉温度提高到1000℃以上时，二噁英产生量变为未分类前的10%。因此，深圳市各垃圾焚烧厂烟气中二噁英浓度变为未分类前的10%。垃圾焚烧厂健康成本见表5.3-7

表 5.3-7 模式二下垃圾焚烧的健康成本

时期	年均垃圾产生量（万吨/年）	年均垃圾焚烧量（万吨/年）	垃圾焚烧厂烟气二噁英浓度( $\mu\text{g I—TEQ}/\text{m}^3$ )	居民健康成本(亿元)
现期	572	343.2	0.001	0.601
近期	619	371.4	0.001	0.651
中期	641	384.6	0.001	0.674
远期	650	390	0.001	0.683

(2) 环境污染

垃圾分类后，有 40%湿垃圾做生物处理。湿垃圾做生物处理后，与填埋法类似，其渗滤液会污染地下水，填埋气会造成周围恶臭。厨余垃圾渗滤液与普通垃圾渗滤液相比，其 COD 浓度普遍偏高。根据王涛<sup>[15]</sup>的实验，本节取厨余垃圾渗滤液 COD 值 10360mg/L 为参考值。地下水治理成本见表 5.3-8。

表 5.3-8 模式二下垃圾填埋的地下水治理成本

时期	年均垃圾产生量（万吨/年）	年均厨余垃圾处理量（万吨/年）	渗滤液 COD 值（mg/L）	地下水治理成本(亿元)
现期	572	228.8	10360	197.76
近期	619	247.6	10360	197.76
中期	641	256.4	10360	197.76
远期	650	260	10360	197.76

由于，本文模型中的地下水污染模型没有考虑垃圾日处理量与渗滤液浓度的关系。因此本节只能预测厨余垃圾生物处理后的地下水治理成本。而不能随时间预测，地下水治理成本的变化。

### （3）物业价值下降

中期新建两座处理厂，具体核算细节见上文。核算结果见表 5.3-9：

表 5.3-9 模式二物业价值下降成本（单位：亿元）

时期	物业价值下降成本
现期	0.2712
近期	0.4421
中期	0.9612
远期	1.5667

### 5.3.4 核算结果

1）现期成本核算结果。

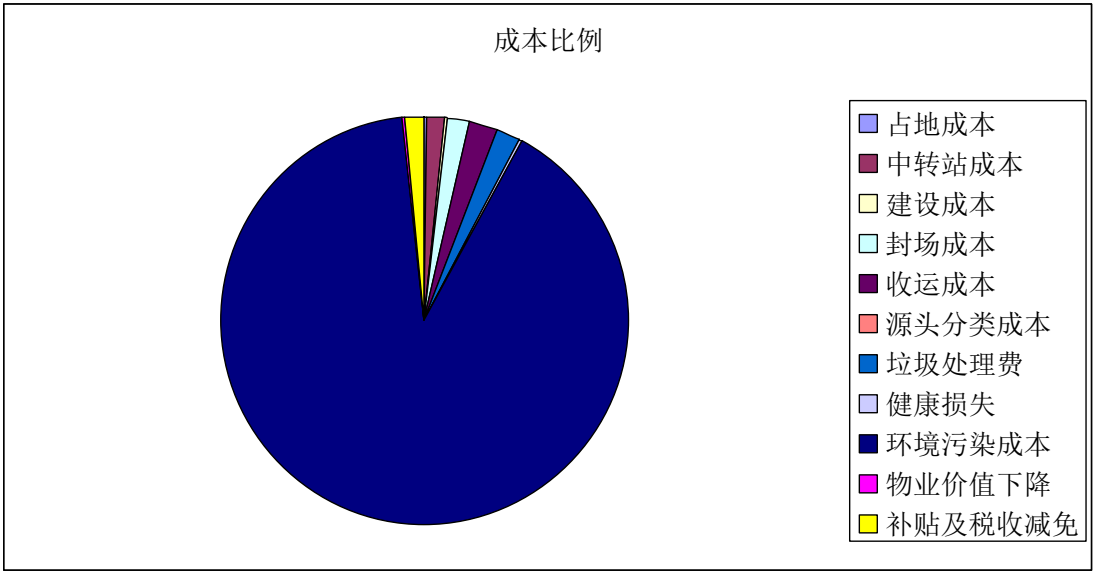
模式二的近期核算结果见表 5.3-10，成本比例见 5.3-11，除环境污染成本外成本比例见 5.3-12。

表 5.3-10 模式二近期成本核算结果

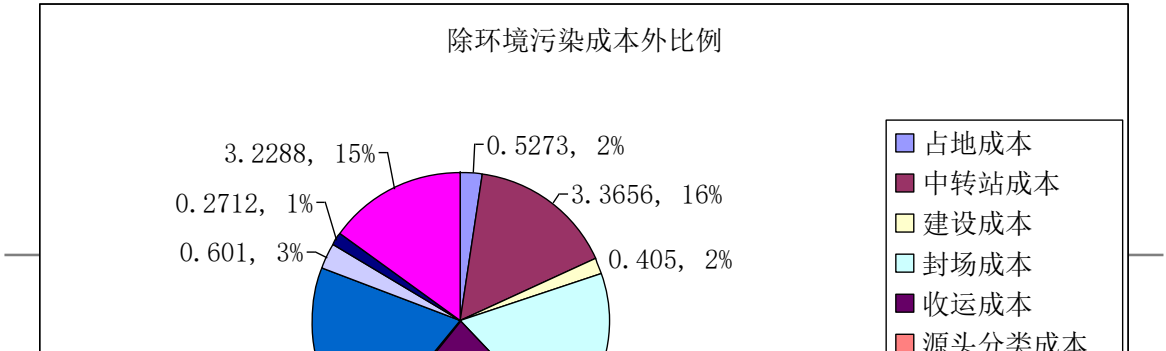
类别	项目	计算结果（单位：亿元）
固定成本	占地成本	0.5273
	中转站成本	3.3656
	建设成本	0.4050
	封场成本	3.7687

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
可变成本	收运成本	4.9065
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	4.2870
	电价补贴	2.1924
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.4118
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.008
	税收减免	0.6166
	健康损失	0.601
间接成本	环境污染成本	197.76
	物业价值下降	0.2712
总成本		219.1211

5.3-11 现期模式二成本比例



5.3-12 现期模式二除环境污染成本外比例





## 2) 近期成本核算结果

模式二的近期核算结果见表 5.3-13。

表 5.3-13 近期模式二成本核算结果

类别	项目	计算结果(单位: 亿元)
固定成本	占地成本	0.5273
	中转站成本	3.4956
	建设成本	0.4050
	封场成本	4.0784
可变成本	收运成本	5.2765
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	4.9965
	电价补贴	2.3713
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.4457
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.008
	税收减免	0.6166
	健康损失	0.651
间接成本	环境污染成本	197.76
	物业价值下降	0.4421
总成本		221.074

### 3) 中期成本核算结果

模式二的中期核算结果见表 5.3-14。

表 5.3-14 中期模式二成本核算结果

类别	项目	计算结果(单位: 亿元)
固定成本	占地成本	0.5273
	中转站成本	3.5566
	建设成本	0.4050
	封场成本	4.2233
可变成本	收运成本	5.3309
	源头分类成本	10.79
	垃圾处理费	9.6150
	电价补贴	2.4221
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.4615
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.01
	税收减免	1.1232
	健康损失	0.674
间接成本	环境污染成本	197.76
	物业价值下降	0.9612
总成本		237.8601

### 4) 远期成本核算结果

模式二的远期核算结果见表 5.3-15。

表 5.3-15 远期模式二成本核算结果

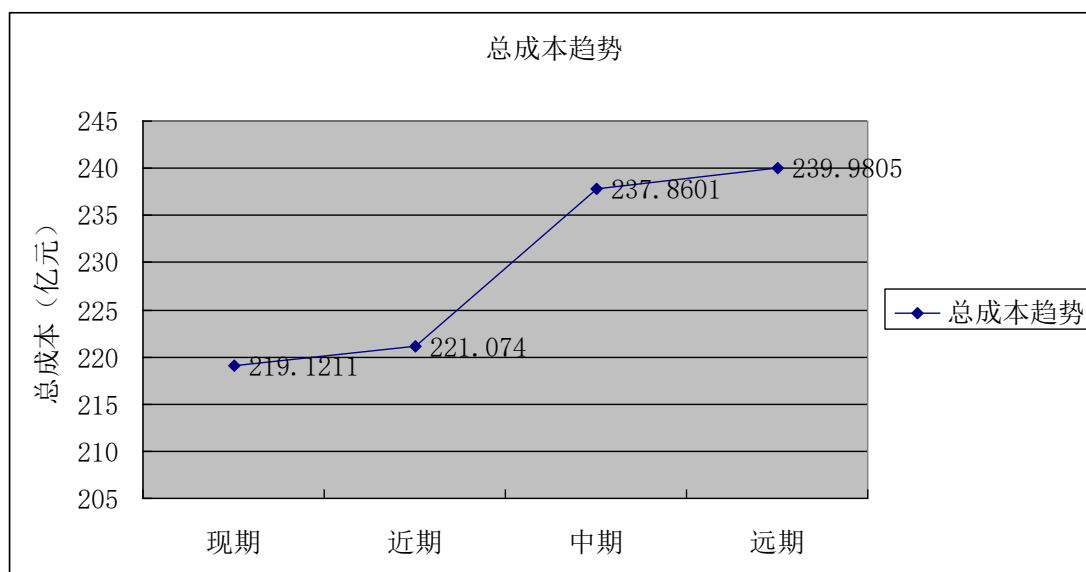
类别	项目	计算结果(单位: 亿元)
固定成本	占地成本	0.5273
	中转站成本	3.5815

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
可变成本	建设成本	0.4050
	封场成本	4.2827
	收运成本	5.4065
	源头分类成本	10.79
	垃圾处理费	10.92
	电价补贴	2.452
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.468
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.01
	税收减免	1.1278
间接成本	健康损失	0.683
	环境污染成本	197.76
	物业价值下降	1.5667
总成本		239.9805

### 5) 不同时期总成本变化趋势

不同时期总成本变化趋势见表 5.3-16。

表 5.3-16 模式二不同时期总成本变化趋势



6) 不同时期各项成本比例变化

模式二不同时期各项成本比例变化见表 5.3-17、5.3-18。

表 5.3-17 模式二不同时期各项成本比例（1）

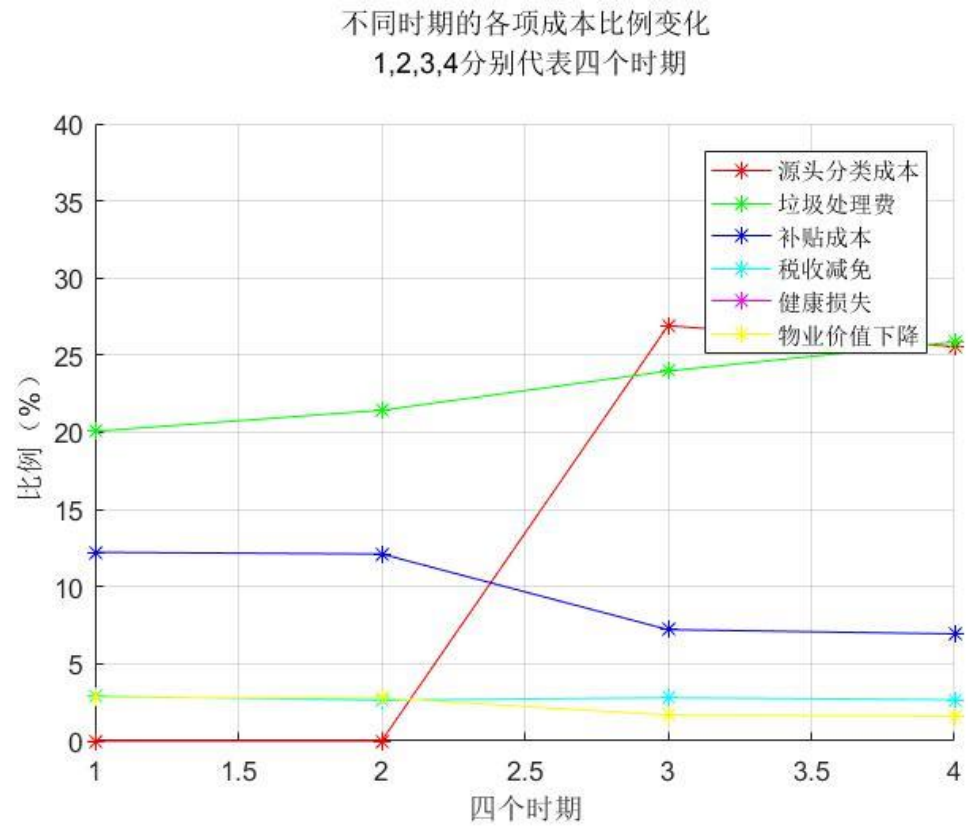
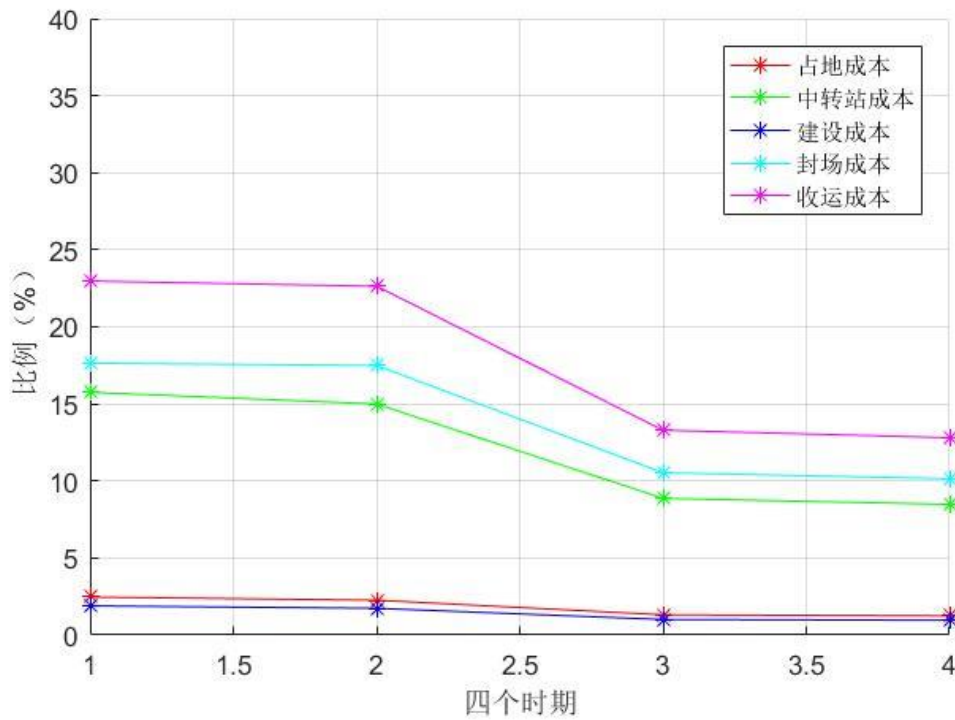


表 5.3-18 模式二不同时期各项成本比例（2）

模式二不同时期的各项成本比例变化  
1,2,3,4分别代表四个时期



比例分析：模式二下，源头分类成本随时间增加迅速升高，垃圾处理费缓慢升高；补贴成本、收运成本、封场成本、中转站成本随时间增加而下降；其他成本虽有缓慢下降，但并不明显，较为平稳

5.3.5 单位垃圾处理成本

本节计算模式二的垃圾处理的单位成本，见表 5.3-17.

表 5.3-17 模式三的社会总成本核算

时期	单位社会总成本（亿元/万吨）	除地下水治理成本的单位社会总成本（亿元/万吨）
现期	0.3831	0.0373
近期	0.3571	0.0377
中期	0.3711	0.0624
远期	0.3692	0.0650

## 5.4 模式三的社会总成本核算

### 5.4.1 固定成本

#### (1) 占地成本

模式三是在末端才通过人工分拣或垃圾压榨实现干、湿垃圾分离。因此，在末端收集到的垃圾相应为干、湿两大类，可按各50%重量考虑。干垃圾采用焚烧方式处理，用地规模参照模式一的方法。根据未来垃圾清运量预测超出现有焚烧能力的干垃圾量见表5.4-1。

表5.4-1 超出现有焚烧能力的干垃圾量预测

时期	未来干垃圾量预测（万吨）	超出现有焚烧能力的干垃圾量（万吨）
现期	286	72.25
近期	309.5	95.75
中期	320.5	106.75
远期	325	111.25

年平均 98.083 万吨，日平均 0.327 万吨，新建垃圾焚烧厂所需土地面积 0.131 平方公里，垃圾焚烧处理设施的使用寿命一般为 30 年，因此新建焚烧厂寿命按 30 年计算，工业用地基准地价 300 元/平方米，占地成本 0.0131 亿。湿垃圾量预测见表 5.4-2。

表 5.4-2 未来湿垃圾量预测

时期	未来湿垃圾量预测（万吨）
现期	286
近期	309.5
中期	320.5
远期	325

年平均：311.83万吨，日平均：1.0394万吨，占地面积0.7276平方公里，假设使用年限为30年，工业用地基准地价为300元/平方米，占地成本为0.0728亿。所以综合看模式三需额外用地为85.86公顷。

同模式一，由于填埋场现期近期仍在使用的，且要用于灰渣填埋，所以占地成本应该计入。

#### (2) 中转站成本

由于模式三是干湿垃圾末端分类，即在垃圾转运站处分类，即在垃圾转运站处依靠设备和人工分类将垃圾分为干垃圾和湿垃圾，因此模式三种垃圾中转站的运维费用比其他模式高，本文按照提高50%估算。即每吨的运维成本为41.52元。

其他核算方法同上文。核算结果如见表5.4-3。

表 5.4-4 模式三垃圾中转站成本（单位：亿元）

	占地成本	建设成本	运维成本	合计
现期	0.174	1.6083	2.375	4.1573
近期	0.174	1.6083	2.57	4.3523
中期	0.174	1.6083	2.6615	4.4438
远期	0.174	1.6083	2.6988	4.4811

### （3）建设成本

填埋场建设成本同模式一。垃圾焚烧厂和生物处理厂都采用 BOT 方式建设，政府的投资成本可视为 0。

### （4）封场成本

核算方法见上文。核算结果见表 5.4-5：

表 5.4-5 模式三封场成本（单位：亿元）

时期	封场成本
现期	4.6759
近期	5.0602
中期	5.2399
远期	5.3136

## 5.4.2 可变成本

### （1）收运成本

收运成本计算方法与模式二基本相同，只是干、湿垃圾的比例不同。现期，近期收运成本与现状相同，中、远期收运成本按50%的垃圾运入厨余垃圾处理设施（运距10公里）、50%的垃圾运入垃圾焚烧厂，厨余垃圾处理设施就近，运距不会超过10公里。

现有垃圾焚烧厂按照规划的处理能力焚烧垃圾，收运成本如模式一。根据未来垃圾清运量预测，超出处理能力的干垃圾运往新建焚烧厂，平均运距 40 公里，湿垃圾就近处理，运距少于十公里，收运成本为见表 5.4-6。

表 5.4-6 收运成本

时期	超出处理能力的干垃圾 收运成本（亿）	湿垃圾收运成本 （亿）	总收运成本 （亿）
中期	1.0675	1.923	5.0745
远期	1.1125	1.95	5.1465

（2）处理成本

①垃圾处理费

垃圾焚烧的处理费支付标准按180元/吨垃圾计，厌氧发酵的处理费支付标准按200元/吨垃圾计（比模式二厨余垃圾处理150元/吨高是因为末端分类需要在收集后处理前进行垃圾分类，分类成本按照高压压榨预处理的方式纳入厌氧发酵的垃圾处理费支付标准考虑）

近期，现期仍然运入填埋场进行处理，处理成本与现状相同。中期，远期现有焚烧厂处理成本与现状及模式一相同，同时新建焚烧厂处理干垃圾，并且湿垃圾生物处理，垃圾处理费见表5.4-7。

表5.4-7 垃圾处理费

时期	新建焚烧厂垃圾 处理费（亿）	湿垃圾处理费 （亿）	总垃圾处理费 （亿）
中期	1.60125	6.41	11.2175
远期	2.0025	6.5	12.35

②各项补贴：

核算方法同上文，核算结果见表 5.4-8。

表 5.4-8 模式三补贴成本（单位：亿元）

	电价补贴	底灰处理补贴	其他补贴	合计
现期	1.9809	0.3432	0.008	2.3321



近期	2.12	0.3714	0.008	2.4994
中期	2.1851	0.3846	0.010	2.5797
远期	2.2117	0.39	0.010	2.6117

### ③税收减免:

A.现期, 近期焚烧垃圾量与现状相同, 因此税收减免与现状相同

B.中期

a.焚烧发电

中期全年现有焚烧厂处理 213.75 万吨, 新建焚烧厂处理 106.75 万吨, 共 320.5 万吨, 所以焚烧发电的税收减免为 0.9208 亿

b.再生水

再生水税收减免为 0.0038 亿

D. 远期

a.焚烧发电

远期全年现有焚烧厂处理 213.75 万吨, 新建焚烧厂处理 111.25 万吨, 共 325 万吨, 所以焚烧发电的税收减免为 0.9360 亿。

b.再生水

再生水税收减免为 0.0038 亿

## 5.4.3 间接成本

### (1) 健康损失与环境污染成本

干湿垃圾分类比例各占 50%。从而计算出二噁英健康风险成本与地下水处理成本, 见表 5.4-9

表 5.4-9 模式二下垃圾填埋的地下水治理成本

时期	年均垃圾产生量 (万吨/年)	二噁英健康成本(亿元)	地下水治理成本(亿元)
现期	572	0.501	197.76
近期	619	0.542	197.76
中期	641	0.561	197.76
远期	650	0.569	197.76

### (2) 物业价值下降

核算方法同模式二，核算结果如见表 5.4-10。

表 5.4-10 模式三物业价值下降成本（单位：亿元）

时期	物业价值下降
现期	0.2712
近期	0.4421
中期	0.9612
远期	1.5667

#### 5.4.4 核算结果

1) 现期成本核算结果。

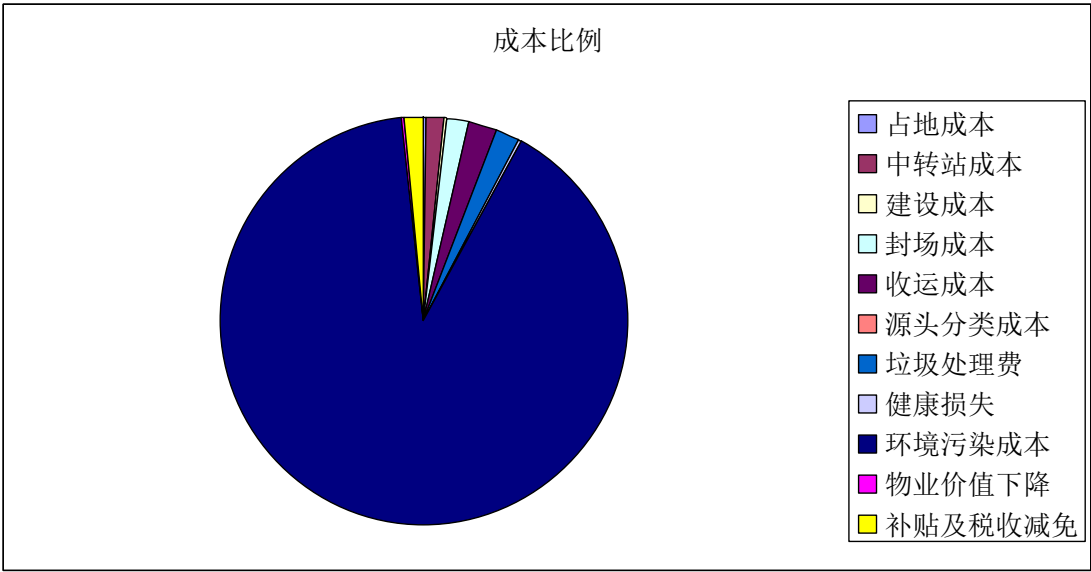
模式三的近期核算结果见表 5.4-11，成本比例见 5.4-12，除环境污染成本外比例见 5.4-13。

表 5.4-11 模式三近期成本核算结果

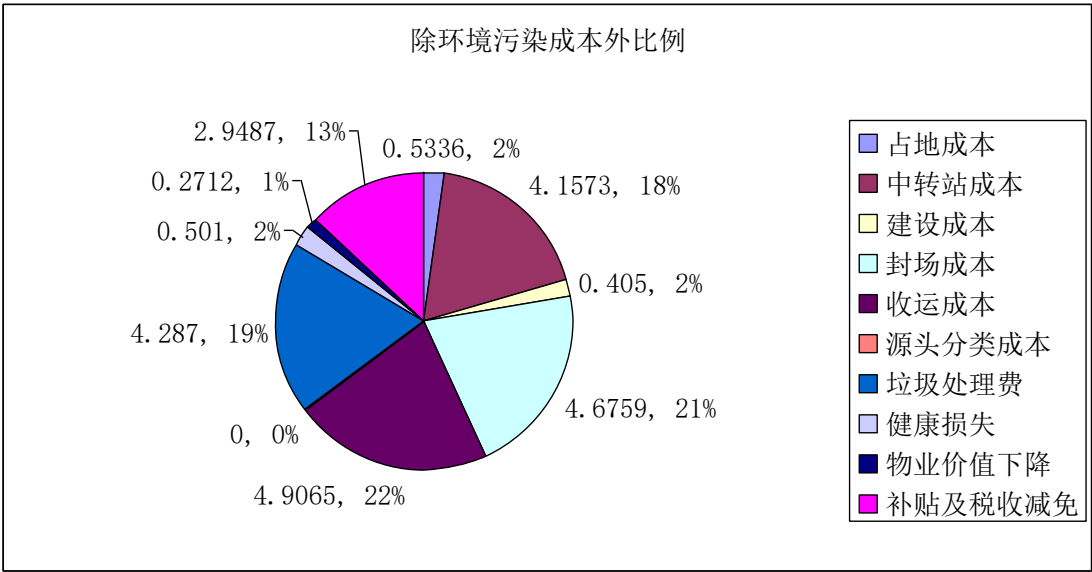
类别	项目	计算结果（单位：亿元）
固定成本	占地成本	0.5336
	中转站成本	4.1573
	建设成本	0.4050
	封场成本	4.6759
可变成本	收运成本	4.9065
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	4.2870
	电价补贴	1.9809
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.3432
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.008

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
间接成本	税收减免	0.6166
	健康损失	0.501
	环境污染成本	197.76
	物业价值下降	0.2712
总成本		220.4462

5.4-12 现期模式三成本比例



5.4-13 现期模式三除环境污染成本外比例



2) 近期成本核算结果

模式三的近期核算结果见表 5.4-14。

表 5.4-14 近期模式三成本核算结果

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
固定成本	占地成本	0.5336
	中转站成本	4.3523
	建设成本	0.4050
	封场成本	5.0602
可变成本	收运成本	5.2765
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	4.9965
	电价补贴	2.12
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.3714
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.008
	税收减免	0.6166
	健康损失	0.542
间接成本	环境污染成本	197.76
	物业价值下降	0.4421
总成本		222.4842

### 3) 中期成本核算结果

模式三的中期核算结果见表 5.4-15。

表 5.4-15 中期模式三成本核算结果

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
固定成本	占地成本	0.5336
	中转站成本	4.4438
	建设成本	0.4050
	封场成本	5.2399

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
可变成本	收运成本	5.0745
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	11.2175
	电价补贴	2.1851
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.3846
	飞灰处理补贴	0
	其他补贴	0.01
	税收减免	0.9246
间接成本	健康损失	0.561
	环境污染成本	197.76
	物业价值下降	0.9612
总成本		229.7008

#### 4) 远期成本核算结果

模式三的远期核算结果见表 5.4-16。

表 5.4-16 远期模式三成本核算结果

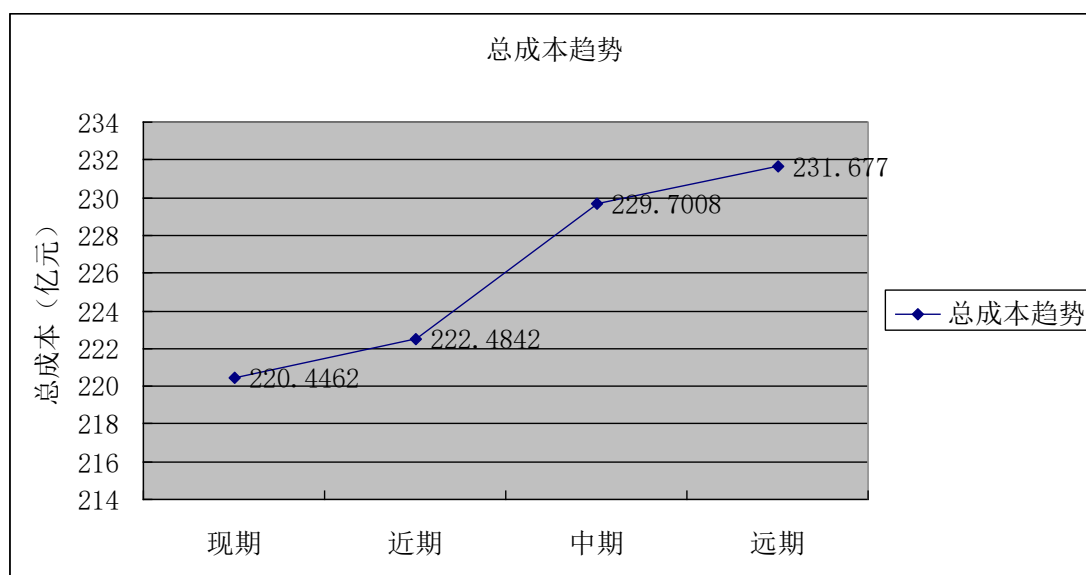
类别	项目	计算结果（单位：亿元）
固定成本	占地成本	0.5336
	中转站成本	4.4811
	建设成本	0.4050
	封场成本	5.3136
可变成本	收运成本	5.1465
	源头分类成本	0
	垃圾处理费	12.35
	电价补贴	2.2117
	渗沥液补贴	0
	底灰处理补贴	0.39

类别	项目	计算结果（单位：亿元）
间接成本	飞灰处理	0
	补贴	0
	其他补贴	0.01
	税收减免	0.9398
	健康损失	0.569
	环境污染成本	197.76
	物业价值下降	1.5667
总成本		231.677

#### 5) 不同时期总成本变化趋势

不同时期总成本变化趋势见表 5.4-17。

表 5.4-17 模式三不同时期总成本变化趋势



#### 6) 不同时期各项成本比例变化

模式三不同时期各项成本比例变化见表 5.4-18、5.4-19。

表 5.4-18 模式三不同时期各项成本比例变化 (1)

不同时期的各项成本比例变化  
1,2,3,4分别代表四个时期

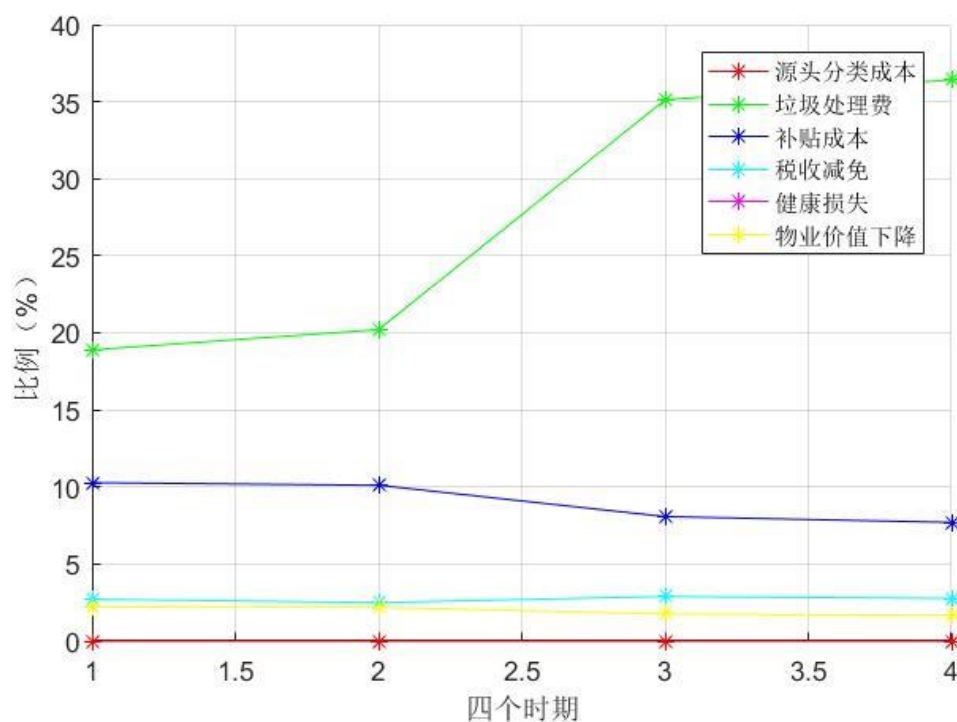
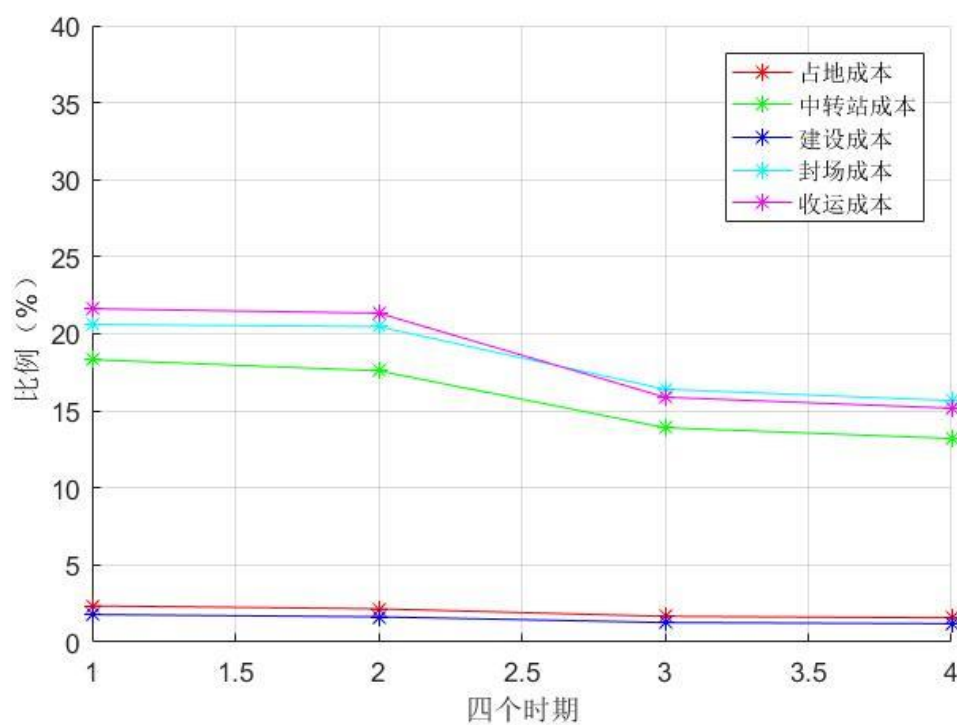


表 5.4-19 模式三不同时期各项成本比例变化 (2)

模式三不同时期的各项成本比例变化  
1,2,3,4分别代表四个时期



比例分析：模式三下，随着时间的增加，垃圾处理费增加较为明显；补贴成本、收运成本、封场成本、中转站成本随时间下降；其他成本或略有增加或减少，但仍保持平稳。

5.4.5 单位垃圾处理成本

本节计算模式三的垃圾处理的单位成本，见表 5.4-17.

表 5.4-17 模式三的社会总成本核算

时期	单位社会总成本（亿元/万吨）	除地下水治理成本的单位社会总成本（亿元/万吨）
现期	0.3854	0.0397
近期	0.3594	0.0399
中期	0.3583	0.0498
远期	0.3564	0.0522

6.措施与建议

6.1 垃圾减量与分类

6.1.1 源头减量与分类的意义

表 6.1-1 深圳市生活垃圾物理组成（单位：%） [33]

处理设施	厨余	纸类	橡塑	纺织	木竹	灰土	砖瓦	玻璃	金属	其他
所占比例	58.12	13.30	15.40	7.12	0.95	0.17	1.43	2.33	0.77	0.42

生活垃圾是造成城市环境破坏的主要源头。深圳城市居民产生的生活垃圾组分中，58%是厨余垃圾，如果能减少厨余垃圾产生量，会大大降低垃圾处理压力；40%左右的成分是可回收利用的资源，可以通过分类回收实现减量。因而在治理过程中做到源头减量与分类，是减轻垃圾处理压力的重要举措。



### 6.1.2 深圳市现状与不足

#### （1）垃圾混合收集

深圳垃圾收运模式主要有三种，垃圾桶屋型，平台式转运站型，集装箱式压缩转运站型。三种类型都是混合收集，无论源头是否分类，混合收集都会使各类垃圾混为一体，增加处理难度；降低居民分类回收的热情。

#### （2）宣传缺乏长期性

政府推行的生活垃圾分类和减量宣传，多以短期宣传为主。例如深圳市政府组织举办的生活垃圾分类和减量知识竞赛，2014 年举办了第一届，2015 年举办了第二届，2016 至今再也没有举办过。<sup>[34]</sup>

#### （3）居民缺乏分类知识

对于可回收不可回收垃圾的了解程度，诸如曾英武文章中的调查问卷显示<sup>[34]</sup>，508 人中，只有 75 人非常了解垃圾分类，399 人大概了解可回收垃圾与不可回收垃圾，34 人根本不了解垃圾分类，大部分居民的问卷结果显示，仅废纸废金属这一选项得到了百分百的认知，其他如废玻璃，废塑料，废弃电子产品等都存在模糊，可以看出，居民对于可回收物的认真还有待于进一步提升，对垃圾的具体分类存在认知不足。

#### （4）垃圾处理设施配置缺乏统一标准

根据深圳市相关规定，小区垃圾桶的配置应该分为四大类，分别用来投放可回收物，有害垃圾，其他垃圾，餐厨垃圾。实际配置上，有的小区配置四类分类垃圾桶，有的则只配备可回收垃圾和其他垃圾两个垃圾桶。

#### （5）政府部分职权分散

深圳生活垃圾分类管理由包括城市管理局，环保部，街道办事处等不同层级共八个部门管理，各部门权力分散，缺乏统筹管理，容易导致生活垃圾分类减量工作出现空缺和漏洞。

### 6.1.3 政策建议

#### （1）污染者付费原则

排放者必须对其排放控制到政府规定的排放限制以内负全部责任。使用污染防治设施，也应负担全部成本。这一原则使污染者承担其污染行为的影响，激励污染者将外部成本内部化。

(2) 政策改进

① 对居民：实行随袋征收垃圾处理费用

根据《深圳市城市生活垃圾处理费征收和使用管理办法》，目前深圳垃圾处理费征收采用“排污水量折算系数法”（单位排污水量对应的垃圾产生量）间接计量其垃圾产生量。收费标准为特区内居民用户 13.5 元/户·月；其他用户按排污水量计收，每立方米 0.27 元（相当于 125 元/吨）；特区外居民用户、其他用户均按排污水量计收，居民用户每立方米 0.59 元，其他用户每立方米 0.27 元（均相当于 125 元/吨）<sup>[35]</sup>，这虽然一定程度上将垃圾处理费与居民产生污水量相关联，但既没有对特区内居民的限制，又不够直观可感，居民不能直接感受到因为产生垃圾量增多造成的垃圾处理费用的增加（有时候产生垃圾量与排污水量并不成正比），对此，我们分析了台北的随袋征收垃圾处理费用模式，并认为该模式能够对深圳的垃圾分类减量起作用。

台北市对垃圾处理费的征收从 1991 年开始，早期也是随水费征收，2000 年，以污染者付费原则为指导，开始实行垃圾随袋征收处理费用。

a.模式核心：

居民通过购买专门垃圾袋缴纳处理费用，台北市有环境保护局保有垃圾袋专有权，负责垃圾袋样式规格容积，然后由环保局指定厂家专门生产，统一销售，私自生产销售专用垃圾袋属于违法行为，违者罚款三万以上十万一下新台币，每种类型垃圾袋费用都较高，从而达到激励居民减量和按量征收垃圾处理费的作用。台北专用垃圾袋规格及售价如表 6.1-1。

表 6.1-1 台北专用垃圾袋售价<sup>[36]</sup>

项次	型号	容积（公升）	尺寸（mm×mm）	厚度（mm）	包装（个/包）	售价（元/包）新台币	备注
1	特小型	5	310w×500	0.044	20	45	提尔式
2	小型	14	430×615	0.048	20	126	提尔式
3	中小型	25	550×750	0.05	20	225	提尔式
4	中型	33	630×720	0.05	20	297	平口式
5	特大型	76	840×900	0.058	10	342	平口式
6	超特大型	120	940×1000	0.1	10	540	平口式

垃圾随袋征收费用政策的出台，增加了居民丢弃垃圾的成本，鼓励居民垃圾分类减量，极大减少了需要清运的垃圾量。

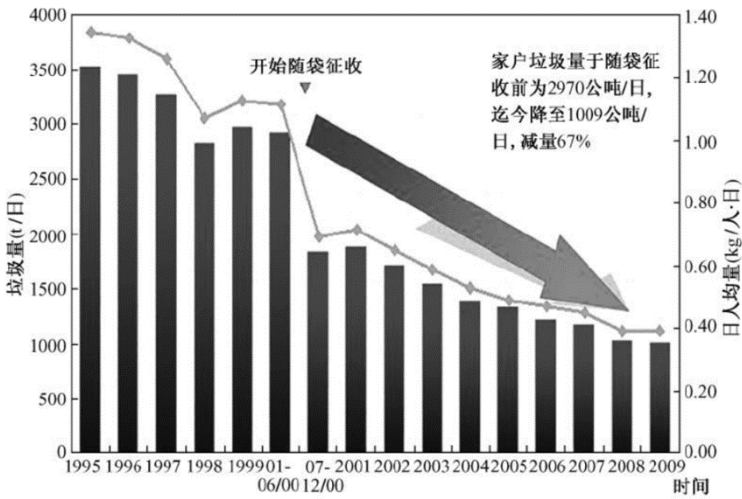
b.深圳借鉴

深圳市要采取这一模式，主要需要做的就是规范垃圾袋种类市场上垃圾袋品牌和规格，垃圾袋由政府指定部门设计生产，并合理定价，按照人均名义 GDP 来看，2015 年中国台湾省人均名义 GDP 折合 22344 美元，深圳市人均名义 GDP 折合 26071 美元，汇率 1 新台币=0.2228 人民币，以中型平口式垃圾袋为例，深圳可以收费 77 元/包（77 元/20 个）。另外，该模式也需要配合法律监督和惩罚机制，这也可参考台北的具体措施。

c.模式效果

台湾采取该模式后 15 年内，垃圾减量高达 65%以上，具体如图[]6.1-2。

图 6.1-2 台北垃圾量变化图[37]



假设深圳采取该模式，按照减量 67%估算，至 2030 年（我们后续论文中称为的远期），垃圾量会由预测的 650 万吨降至 214.5 万吨，深圳目前焚烧厂处理垃圾总能力为 213.75 万吨，且有老虎坑垃圾焚烧厂三期在建，即如果深圳随袋征收垃圾处理费用的模式运作良好，可以实现垃圾全量焚烧处理，且不需要新建焚烧厂。

②对餐饮行业：同类餐饮企业进行单位营业额垃圾量对比，并据此征收不同等级垃圾处理费。

厨余垃圾占深圳生活垃圾的58%以上，而深圳流动人口众多，因此庞大的餐饮行业是厨余垃圾的重要来源。实行餐厨垃圾减量可以极大地减少垃圾清运量。

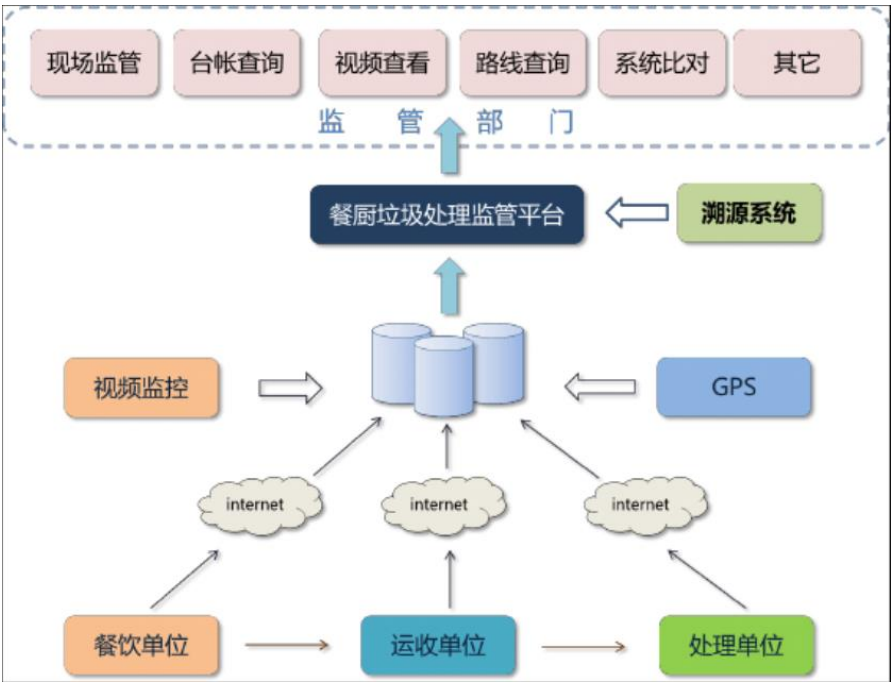
a.模式核心

按照星级和主营业务将深圳餐饮企业进行分类，如分为火锅类，快餐类，自助类等，每一类再进一步细分为高档，中档，平民等层级，将同一层级内的各店垃圾产生量除以营业额进行对比，按单位营业额对应的垃圾量不同征收不同等级的垃圾处理费，实现多污染多付费，激励各店推行“光盘行动”，根据客人多少，建议客人点菜量，避免浪费，减少厨余垃圾量。

b.推行关键

以上海的调查结果为例，目前上海餐饮行业厨余垃圾回收规范收运量不高，非法收运处置现象普遍，当前环卫部门收运进行无害化处置的厨余垃圾为400吨每天，只占到了产生量的1/3<sup>[38]</sup>。这主要因为餐饮单位在利益驱动下与非法收购力量之间的地下交易行为，这就需要监管部门加强监管能力，规避餐饮单位的餐厨垃圾的非法处置。可以参考上海推行的监管框架，见图6.1-3。

图6.1-3 上海餐厨垃圾监管框架<sup>[39]</sup>



③对一般生产商：精简包装

对商品在现有价格下按不同包装规格增收费用，如对塑料包装，过度包装，一次性包装的商品征收较高的价外费用，并在商品标价时实行价费分开，即明确标注商品原价和增收的包装费用，从而减少居民购买环境不友好包装商品的数量，进而促使厂商为降低产品实际售价而精简包装，实现包装类垃圾的减量。

④对政府宏观政策：建立垃圾回收系统<sup>[34]</sup>

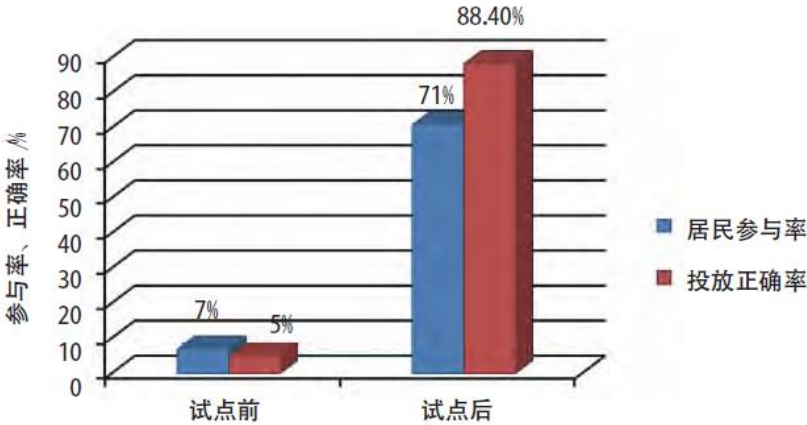
这方面可以借鉴德国，德国建立专门的垃圾回收利用系统“绿点”，即德国回收利用系统股份公司（DSD），DSD 公司通过发放“绿点”商标，限制和减少废旧包装材料的浪费。“绿点”标志在德国，相当于中国的许可证一样。“绿点”商标意味着商品加入到 DSD 公司，由 DSD 公司承担回收再利用的义务，这使得垃圾回收利用专门化，提高了垃圾回收利用的效率。垃圾回收利用行业是德国经济的组成部分之一，每年垃圾行业生产总值在四百亿欧元左右，且提供了 20 万左右的就业机会。将生活垃圾产业化，不仅可以解决垃圾围城的困境，而且能创造巨大的经济效益和社会效益。这方面要运行是一个长期的过程，需要政府的宏观规划。

（3）激励措施（包括监管，奖惩措施等）

①社区 app

可以借鉴上海，上海于 2013 年下半年开始在社区试点新版“绿色帐户”<sup>[38]</sup>。正确分类的居民能够获得 40 分/d 的积分，通过积分累积兑换一定的实物或服务。截至 2014 年 10 月底，“绿色帐户”对居民分类投放的激励效果显著。以上海某一试点区县为例，激励效果见图 6.1-4。

图 6.1-4 绿色帐户对居民分类投放的效果<sup>[9]</sup>



深圳目前也有部分社区构建了社区 app，可以加以推广，利用对居民的精神表扬和一定的物质奖励，促使社区内形成垃圾分类的风气。

②对小区物业二次激励

物业在生活垃圾分类中具有重要的作用，目前深圳对物业实行政府补贴，经费以每 1000 户为分界线，以 1000 户补贴十万元为基准，低于 1000 户的，每减少 100 户，费用减少 6%，高于 1000 户的，每增加 100 户，费用增加 8%<sup>[40]</sup>。物业公司的资金主要购买小区垃圾分类所需要的设备及人员经费和开展垃圾分类活动的活动经费。这种补贴只与小区人数有关，与小区垃圾分类和减量工作的完成度无关，因而缺乏激励。

为了实现激励，有两点建议。其一是区县环卫局对于试点小区垃圾二次分拣给予补贴，使得物业除了在分类回收的废弃物的出售获利外，还可以得到额外的补助，类的动力；其二是按各个小区垃圾分类和减量结果对物业进行考评，还是以上海为例<sup>[38]</sup>，上海的调查证明对物业保洁员考评有助于垃圾减量，调研数据表明，考评小区平均垃圾减量桶数为1.4 桶，没有考评的小区为0.66 桶。考评保洁员小区的垃圾减量成效要高于无考评小区。结果见表6.1-2。

表6.1-2 上海市保洁员考评对垃圾减量效果<sup>[38]</sup>

保洁员参与 考评与否	小区个数	百户减量均值 (桶/100户)	标准差 (桶/100户)
考评	102	1.394	2.330
不考评	71	0.6558	1.138

资料来源：论生活垃圾居民源头分类减量的激励机制\_以上海为例\_黄文芳

③强化对居民垃圾减量和分类的处罚程度

按照《深圳市生活垃圾分类和减量管理办法》第四十一条的规定，单位或者个人违反本办法第十四条、第十五条规定，未分类投放或者未按规定分类投放生活垃圾的，由主管部门责令改正。拒不改正的，对个人处 50 元罚款，情节严重的，处 100 元罚款；对单位处 1000 元罚款<sup>[41]</sup>。个人受到罚款处罚的，可以申请参加主管部门安排的社会服务以抵扣罚款。这样的处罚力度相对于深圳

的经济水平和文明程度而言偏低，可以参考新加坡。《新加坡环境公共卫生（修正）法案》为了阻止国民和游客随手乱扔垃圾，规定首次乱丢垃圾者，最高罚款增加至 2000 新元（约合人民币 9600 元），第二次被控乱丢垃圾者的最高罚款增加至 4000 新元（约合人民币 19200 元）<sup>[42]</sup>。第三次或以上被控者的最高罚款增加至 1 万新元（约合人民币 48100 元），深圳可以在督促居民垃圾减量和分类方面适当增大处罚力度，奖惩并行。

## 6.2 鼓励垃圾处理技术研发

### 6.2.1 垃圾渗滤液处理技术

从第 4 大节的环境影响评价报告中可以看出，垃圾渗滤液即使经过现行技术的处理仍有比较高的 COD 值。排放到地下后，对地下水的污染范围随着时间的增长持续扩大。如果深圳市政府要对地下水污染治理，每年的治理成本要达到 180 亿元。与其将来投入 180 亿元治理地下水污染，不如现在鼓励垃圾渗滤液处理技术研发，提高垃圾渗滤液排放标准，使之接近饮用水标准。

### 6.2.2 垃圾焚烧厂烟气处理技术

由高斯点源扩散模型看出，垃圾焚烧厂周围二噁英浓度取决于垃圾焚烧厂排放二噁英的源强而不是浓度。因此，即使深圳市现行的垃圾焚烧烟气排放满足欧盟标准，但如果深圳市垃圾处理全量焚烧，居民的健康风险会翻倍。因此，如果深圳市未来希望垃圾全量焚烧，那么就要制定更严苛的烟气排放标准，加大烟气处理技术的研发。结合一二两点，如果垃圾处理技术真正意义上的过关，公众不再视垃圾处理厂为洪水猛兽，那么垃圾处理厂造成的周围物业价值下降这项成本也将消失。

## 6.3 统计数据的改进建议

### 6.3.1 对于有害垃圾的统计数据不足

目前的统计数据缺乏对有害垃圾如废旧电池等生活垃圾中的有害组份的分析，无法知晓有害垃圾的成分和含量。有害垃圾虽然含量较低，但是如果其直接填埋，带来的严重后果

是巨大的，如果交由具有相关处理资格的企业处理，也需要知道有害垃圾的相关数据才能进行成本计算等相关研究。

### 6.3.2 垃圾填埋场渗滤液浓度统计不足

在计算垃圾填埋场对地下水污染的情况时，垃圾渗滤液的 COD 值决定了最终污染的地下水体积。由于缺少深圳市垃圾填埋场的渗滤液浓度统计数据，本文在计算地下水污染体积时只能根据垃圾渗滤液某次实验的数据来计算。

## 6.4 垃圾焚烧厂的选址

通过本文建立的模型可以看出，静风天气会使得给垃圾焚烧厂周围居民的健康风险剧烈上升。因此，选址时应考虑垃圾焚烧厂周围的地形，保证垃圾焚烧厂处的风速较大。

垃圾焚烧厂污染范围内不能有农田、养殖场。否则，垃圾焚烧厂产生的二噁英会通过食物链进入人体，大大增加人体的二噁英暴露量。增加患病风险

## 7.模型的不足

- 1.由于缺乏数据，因此没有考虑到垃圾渗滤液浓度与垃圾处理量的关系
- 2.没有考虑二噁英由食物进入人体的情况
- 3.Logistics 模型不能反应经济危机等事件对经济波动的影响



## 8.参考文献

- [1]深圳市统计局. 深圳统计年鉴 2015 [Z]. 2016-06-07.
- [2]阎慧臻. Logistic 模型在人口预测中的应用[J].大连工业大学学报, 2008, 4: 333-335.
- [3]深圳每日垃圾产生量惊人 目前仍处于递增阶段.
- [4]宋国君. 附件 2-北京市城市生活垃圾焚烧社会成本评估报告 [R]. 北京:中国人民大学国家发展与战略研究院, 2017.
- [5] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于完善垃圾焚烧发电价格政策的通知
- [6] 施宇光.垃圾填埋场对周边住宅价值影响效应的实证分析 [J]. 上海国土资源,2016, 37: 39-41.
- [7]Nelson A C, Genereux J. Genereux MPrice effects of landfills onhouse values[J]. LandEconomics, 1992, 68(4): 359-365.
- [8]毛战坡, 王雨春. 环境影响评价与管理 [M]. 中国水利水电出版社, 2008.
- [9]杨杰. 基于蒙特卡洛的垃圾焚烧产生的二噁英健康风险评估 [J]. 安全与环境学报, 2011, 4: 234-238.
- [10]陈玲, 孟了, 兰吉武, 崔俊涛. 深圳市下坪固体废弃物填埋场渗滤液量测量及处理的研究现状[J]. 广东化工, 2014, 2: 84-85.
- [11]金达表, 章少华, 李艳冰, 王克勤, 李定成. 深圳市地下水资源评价以及开发利用对策研究[J]. 水文地质工程地质, 2001, 1: 29-32.
- [12]郑汝宽, 吴增新. 地下水弥散系数的就地测量方法 [J]. 环境科学, 1988, 2: 64-70
- [13]黎青松, 郭祥信. 深圳市玉龙坑垃圾填埋气体成分与产气规律研究 [J]. 环境卫生工程, 1999, 1:6-9.
- [14]李应芝. 恶臭气体污染与评价 [J]. 山东环境, 1996, 1,:16-18.
- [15]王涛, 张文阳. 垃圾渗滤液与厨余垃圾混合厌氧消化研究 [J]. 环境科技, 2011, 3:25-28.
- [16]白良成.生活垃圾焚烧处理工程技术 [M]. 中国建筑工程出版社, 2009.
- [17] 深圳市城市管理局官方网站统计表格
- [18] 晋江市市区垃圾中转站工程项目简介 晋江市市政园林局
- [19] 关于温岭市东部新区北区垃圾中转站工程项目的批复 温岭市发展与改革局
- [20] 湖南佳星液压机械制造有限公司 想要垃圾压缩站使用寿命更长后期的维护是不可少的

- [21] 大型垃圾中转站人员配置及运行费用  
<https://wenku.baidu.com/view/a794a89183d049649b66589c.html>
- [22] 垃圾填埋场封场规范  
<https://wenku.baidu.com/view/ed11262e0066f5335a8121ce.html>
- [23] 东方早报 上海 大量填埋场“超期服役”，存量垃圾整治市场巨大
- [24] 深圳晚报 陈龙辉 王群群
- [25] 关于电价调整的公告 深圳能源
- [26] 深圳市城市管理局官方网站宣传焚烧流程图片
- [27] 党小剑 城市生活垃圾灰渣熔融处理技术研究 南京 东南大学 2005
- [28] 垃圾发电到底如何运作？记者实地探访盐田环保电厂  
<http://news.bjx.com.cn/html/20170712/836506.shtml>
- [29] 宝安老虎坑垃圾焚烧发电厂对市民开放参观 深圳宝安网  
<https://www.baidu.com/link?url=jh-WvYHhVK-CYq8GIDP-x3BiE9O7II4Z9lh-awXRn2xO3eIx0hFVre6ZTJmyhNL1H3uPvHUSyST2j50aQ84E8CtfD9XbbJmxV8AyMcr70Gq&wd=&eqid=f4bad5760001a23a000000003598dc29a>
- [30] 垃圾焚烧污染项目环境污染控制与环境风险评估案例  
<http://www.doc88.com/p-9327127960088.html>
- [31] 深圳市罗湖下坪填埋场考察实录 中国城乡环卫网  
<http://www.cncxhw.com/InteContent.aspx?id=170800954>
- [32] 2015 深圳房地产统计分析报告
- [33] C 题-附件 9-2015 深圳生活垃圾基础数据调查-1116
- [34] 曾英武. 深圳生活垃圾治理的困境及其治理模式构建 [D]. 深圳: 深圳大学, 2017: 1-7.
- [35] 深圳城市管理局. 深圳市垃圾处理费征收标准 [Z]. 2011-10-15.
- [36] 台湾台北政府网
- [37] 上海世博会城市生活最佳实践区台北案例馆宣传资料
- [38] 黄文芳, 王洁. 论生活垃圾居民源头分类减量的激励机制——以上海为例 [J]. 环境卫生工程, 2016, 2: 1-5.
- [39] 上海餐饮厨余垃圾处理监管平台方案
- [40] 深圳: 垃圾分类有补贴吗? . [EB/OL]. [2014-06-04].  
<http://china.findlaw.cn/ask/baike/107104.html>

[41] 深圳市人民政府圳. 深市生活垃圾分类和减量管理办法. [Z]2015-07-22

[42] 《新加坡环境公共卫生（修正）法案》