

# 北京市城市生活垃圾焚烧社会成本评估报告

---

2017年3月22日

中国人民大学国家发展与战略研究院

中国人民大学首都发展与战略研究院

## 前言

作为关于城市生活垃圾管理方面的第三份研究报告，本报告的主题进一步深入，重点关注城市生活垃圾管理的路径选择问题：城市生活垃圾焚烧的社会成本，这是制定生活垃圾焚烧政策的重要依据。

我校环境学院宋国君教授领衔的研究组，在 2015 年发布的《城市垃圾管理状况评估报告》、《城市生活垃圾管理“十三五”规划建议报告》的基础上，对北京城市生活垃圾焚烧的社会成本进行了核算并完成本报告，体现了我校学者对国家发展战略的关注和响应。希望该报告内容能对政府和社会各界探索、落实“十三五”期间生活垃圾管理决策有所帮助。

报告对北京市目前运营的三座垃圾焚烧厂的社会成本评估表明：生活垃圾焚烧社会成本巨大，不仅需要高额的公共财政补贴，其达标排放后仍有排放的二噁英类危险空气污染物所造成的健康损失也是高昂的。报告指出生活垃圾源头分类、厨余单独处理、可回收物回收利用，能够显著、全面地降低生活垃圾管理的社会成本。报告提出的政策建议包括：终结电价补贴政策，用焚烧垃圾处理费表达生活垃圾焚烧处置的全部成本，使社会成本显性化；实施垃圾焚烧全市统筹，坚决遏制“一区（县）一焚烧厂”格局出现；确立权责一致的生活垃圾管理主责部门；建立目标明确的、可操作的北京市生活垃圾源头强制分类减量规划；对生活垃圾焚烧厂实施排污许可证制度，建立生活垃圾管理统计信息平台，实施全面彻底的生活垃圾管理信息公开政策。

在践行绿色发展理念、推动生态文明建设的进程中，我们衷心期望“十三五”时期城市生活垃圾分类和资源回收工作能够取得明显进展，这就需要全社会进一步凝心聚力。我们相信，高水平的研究成果可以为此创造条件，也体现了专家学者的参与和贡献。希望课题组继续努力，通过更为精细科学的研究和严谨合理的制度设计，推动我国城市生活垃圾管理能力的持续提升，促进全社会关注并加速解决日益严重的生活垃圾污染问题。

洪大用教授

中国人民大学副校长

2017 年 3 月 13 日

课题组：

首席专家：宋国君 教授

中国人民大学环境学院环境经济与管理系人口、资源与环境经济学专业，环境政策与管理专业，教授、博士生导师

中国人民大学环境政策与环境规划研究所所长

中国人民大学国家发展与战略研究院研究员

研究人员：

孙月阳，中国人民大学环境学院人口、资源与环境经济学博士研究生

赵畅，中国人民大学环境学院环境政策与管理硕士研究生

刘帅，农业部管理干部学院现代农业研究中心助理研究员

王颖，河北得正律师事务所律师

耿建斌，中国人民大学环境学院环境政策与管理硕士研究生

数据支持：北京数汇通环境技术研究院 (<http://www.3edata.com>)

项目支持：中国人民大学国家发展与战略研究院 中国人民大学首都发展与战略研究院

# 目录

1	北京市城市生活垃圾焚烧情况	4
2	台湾省生活垃圾管理经验借鉴	6
2.1	末端处置与分类回收两主线并行，资源回收起步早	6
2.2	大力兴建焚烧炉造成财政资金和产业资金的双重浪费	6
2.3	垃圾清除处理成本全面核算	7
2.4	遵循污染者付费原则	10
3	北京市生活垃圾焚烧社会成本评估方法	10
3.1	生活垃圾焚烧社会成本	11
3.2	生活垃圾焚烧社会成本的核算边界	13
3.3	生活垃圾焚烧社会成本计算方法	14
4	北京市焚烧厂固定成本、可变成本和税收减免评估	21
4.1	高安屯垃圾焚烧发电厂（一期）	21
4.2	鲁家山垃圾焚烧发电厂（一期）	26
4.3	顺义区生活垃圾综合处理厂（焚烧一期）	30
5	二噁英排放健康损失评估	34
5.1	焚烧厂空气污染物排放的落地点浓度	34
5.2	ADMRT 预测二噁英落地点浓度	36
5.3	不同落地点浓度的终身致癌风险	37
5.4	每年可能的致癌人数	39
5.5	年度健康损失	39
5.6	健康损失评估讨论	40
6	北京市生活垃圾焚烧社会成本评估	41
6.1	生活垃圾焚烧处置社会成本 20.39 亿元/年	41
6.2	生活垃圾焚烧处置社会成本 1089 元/t，全过程管理成本 2253 元/t	42
6.3	直接焚烧处理费虽低，但社会成本却是高昂的	43
6.4	焚烧电价补贴是错误的政策，是引发问题的关键一环	43
6.5	十一座焚烧厂生活垃圾管理全过程社会成本将达 373.2 亿元	46
7	生活垃圾分类减量后社会成本估计	47
7.1	焚烧厂服务人口增加，2/3 焚烧厂存在闲置风险	48
7.2	垃圾成分变化，单位垃圾焚烧处置社会成本降低 21%	48
7.3	生活垃圾管理全过程社会成本降低 64%	52
8	结论与建议	55
8.1	结论	55
8.2	建议	57

# 北京市城市生活垃圾焚烧社会成本评估报告

北京城市生活垃圾清运量从 2000 年的 244.39 万 t 增长至 2014 年的 733.8 万 t<sup>1</sup>，年均增速 8.17%。《北京市生活垃圾处理设施建设三年实施方案(2013-2015 年)》规划垃圾焚烧和生化等资源化处理率达 70% 以上<sup>[1]</sup>，随着近年来垃圾处理费持续走低<sup>[2]</sup>，垃圾焚烧被作为快速解决垃圾围城的曙光。

然而，垃圾焚烧社会成本巨大，现行垃圾处理费、电价补贴等分散隐蔽的补贴方式，不但没有考虑社会为此承担的污染成本，而且还误导了社会对生活垃圾焚烧处置的认识，即认为生活垃圾焚烧是资源回收利用工程、焚烧的成本低等。本报告旨在揭示整个社会承担的生活垃圾焚烧成本，即文中所称的社会成本，以纠正认知偏差。希望在生活垃圾管理方式的选择上，为理性决策提供参考。

## 1 北京市城市生活垃圾焚烧情况

如图 1-1 所示，从 2005 到 2014 年，北京市城市生活垃圾清运量从 454.6 万 t 增长至 733.8 万 t，焚烧量从 7.4 万 t 增长至 156.1 万 t，焚烧量年均增长率 8.6%。2014 年生活垃圾焚烧率达到 21.4%，清运量和焚烧量基本同步上涨，但垃圾填埋仍是北京主要的无害化处理方式。

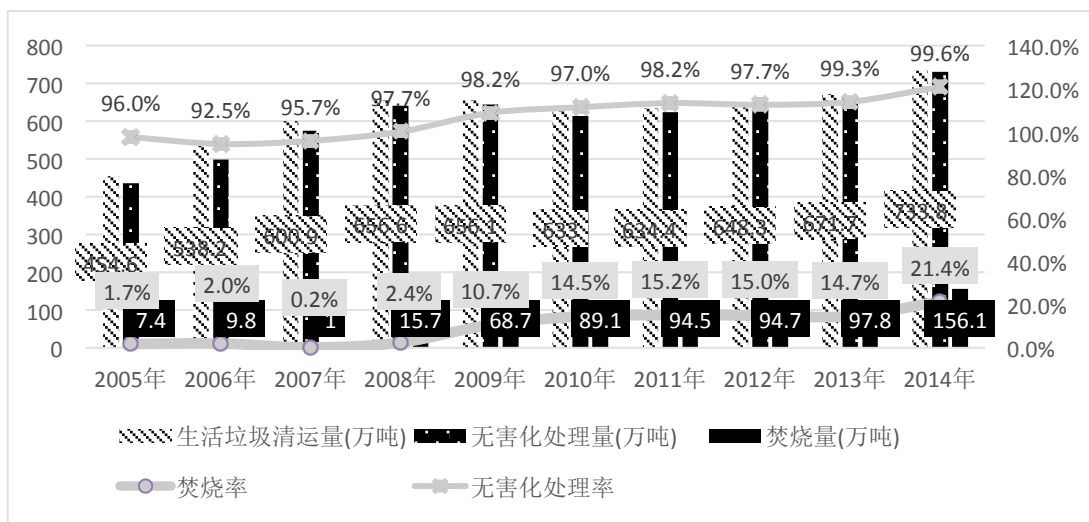


图 1-1 北京城市生活垃圾管理数据

数据来源：中国统计年鉴 2006-2015

1 数据来源：《城市建设年鉴》2000-2014。

截至 2016 年 4 月，北京市正常运营的生活垃圾焚烧厂 3 座，分别为高安屯垃圾焚烧发电厂（一期）、顺义区生活垃圾综合处理厂（焚烧一期）、鲁家山垃圾焚烧发电厂（一期）（下文称高安屯、鲁家山、顺义），总设计焚烧处理能力 4874t/d。<sup>2</sup> 拟建及待投产 8 座<sup>3</sup>，如图 1-2 所示。



图 1-2 北京市生活垃圾焚烧厂分布

根据公开资料显示的 8 座焚烧厂的建成及拟投产时间，在 8 座焚烧厂投入运营，不再建设新厂的情况下，2017 年底，北京市生活垃圾焚烧日处理能力最高达到 16362t/d，为现处理量的 3.36 倍。按照生活垃圾清运量 2005 到 2014 年均增长 5.5%，焚烧厂负荷率 100%<sup>4</sup> 计算，北京市生活垃圾焚烧率将在 2017 年末—2018 年初年达到高峰，接近 60%。

2 高安屯垃圾焚烧发电厂（一期）1600t/日；鲁家山生活垃圾焚烧厂（一期）3000t/日；顺义区生活垃圾综合处理厂（焚烧一期）274t/日。

3 以北京市生活垃圾处理设施建设三年实施方案(2013-2015 年)为准。

4 目前高安屯垃圾焚烧发电厂一期负荷率为 124%，顺义垃圾焚烧中心负荷率 137%<sup>[55]</sup>。

## 2 台湾省生活垃圾管理经验借鉴

### 2.1 末端处置与分类回收两主线并行，资源回收起步早

台湾省生活垃圾处理方案经历了“填埋为主”、“焚烧为主、填埋为辅”、“资源回收”、“零废弃”4个政策阶段，如图2-1所示。前两者是台湾省一般废弃物的处置政策，后两者是资源回收政策。在时间上相互重合和、共同推动。1998年，台湾省成立资源回收基金管理委员会，推动“资源回收四合一计划”，回收起步较早。从台北市的政策效果来看，人均生活垃圾日清运量从1kg以上降低至0.3kg以下，焚烧量从最高点降低50%以上，垃圾分类减量效果明显。

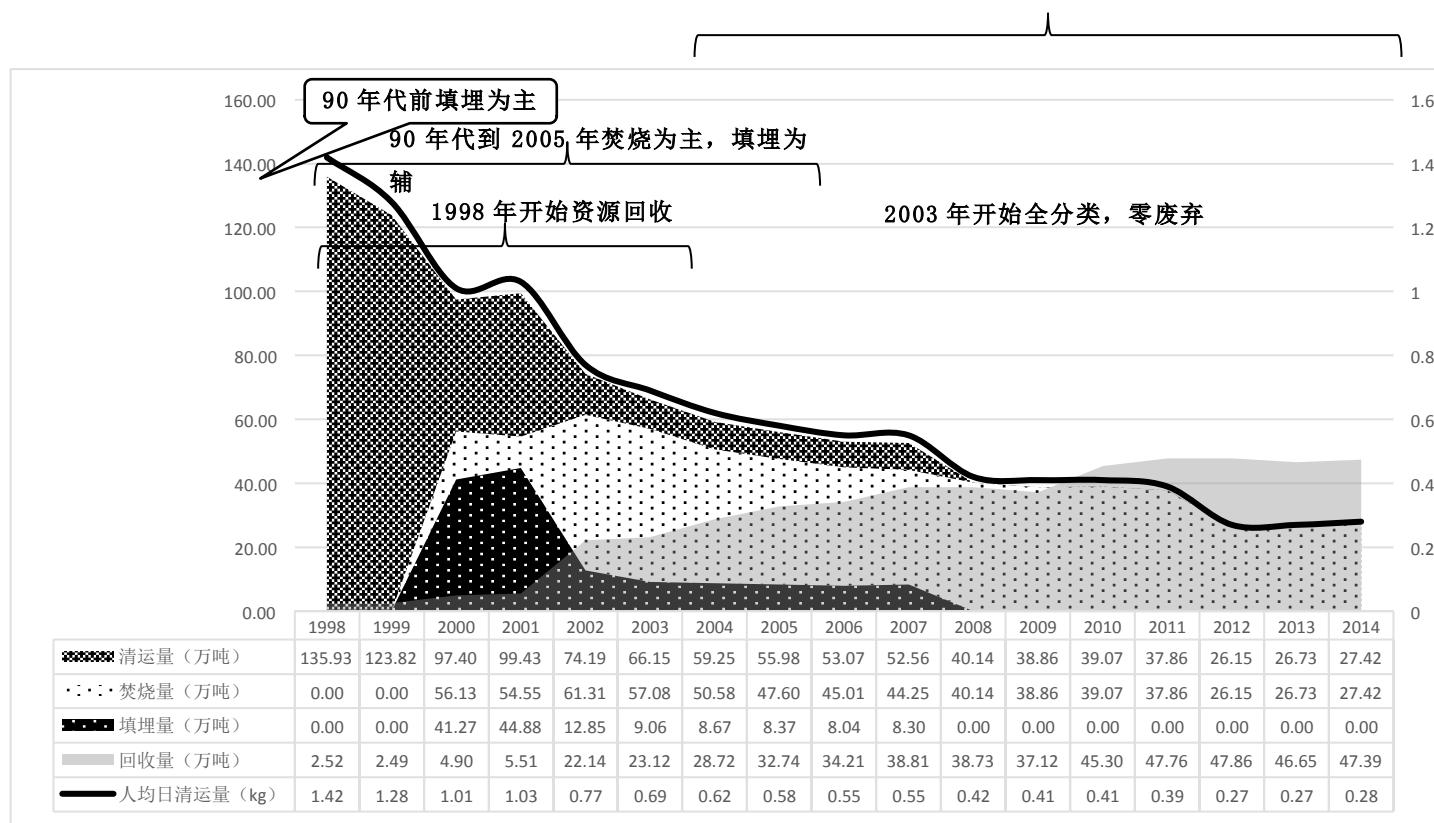


图 2-1 台北市生活垃圾管理政策效果

数据来源：台湾省环保统计资料库

### 2.2 大力兴建焚烧炉造成财政资金和产业资金的双重浪费

1991年确立23县市“一县市一焚化炉”的目标，十四年后的2005年政策叫停。其间环保部门大力推广、兴建焚烧炉，造成财政资源的浪费和过多的焚烧炉，使台湾省从“垃圾大战”的时代，进入“抢垃圾大战”的时代<sup>[3]</sup>。除兴建焚

烧厂所花费的资金外，政府还必须支付与企业所签合同中规定的违约金，此外有的兴建一半的焚烧工程也面临停工的命运，造成财政资金和产业资金的双重浪费。目前，这些焚烧厂不得不开发事业废弃物的焚烧，并转型为生物质能源中心，带来新的污染问题。

## 2.3 垃圾清除处理成本全面核算

对于一般废弃物(生活垃圾)，台湾省不仅有整个生命周期的物质流量统计，而且有成本相关的统计。无论从宏观层面的污染治理成本统计、还是微观层面清除处理费及专题“成本—收益”分析，垃圾清除处理成本都是可以核算的。此项核算不仅可以区分不同级行政区的成本，也可以核算不同类废弃物的清除处理成本。成本核算是判断形势、确定收费费率、提高管理效率、降低成本的前提。目前，台湾省在成本科目、计算公式、调查方法、信息系统方面都很成熟。成本调查与统计已经成为宏观决策、收费费率、处理方式选择的重要依据。

### 2.3.1 以污染治理成本统计为目的的成本核算

台湾省环境保护部门有较完善的环保统计体系，每年进行污染防治支出调查统计<sup>[4]</sup>，估算政府部门及产业部门的污染防治支出，了解环境与经济间的关系及整体污染防治支出规模，供环保政策制定参考。台湾省生活垃圾管理，包括市政道路清扫等都由城市环保局负责。污染防治支出调查的结论主要有三部分，一是整体污染防治支出，二是政府部门污染防治支出，三是产业部门污染防治支出。第一部分为后两部分的之和。

#### (1) 支出统计项目

污染防治支出等于资本支出和经常支出的和再减去污染防治附带收入，公式如下：

$$\begin{aligned} \text{污染防治支出} &= \text{资本支出} + \text{经常支出} - \text{污染防治附带收入} \\ &= (\text{政府部门资本支出} + \text{产业部门资本支出}) \\ &\quad + (\text{政府部门经常支出} + \text{产业部门经常支出}) \\ &\quad - (\text{政府部门污染防治附带收入} + \text{产业部门污染防治附带收入}) \end{aligned}$$

支出项目分为不同污染的治理支出：



$$\begin{aligned} \text{污染防治支出} = & \text{空气污染防治} + \text{水污染防治} + \text{废弃物处理} + \text{噪音及震动防治} \\ & + \text{研究发展} + \text{其他} \end{aligned}$$

其中，废弃物清除处理支出包括对各种废弃物的储存、清除（运）处理、回收再利用及最终处置等，如焚化炉、掩埋场的兴建、运作、维护与绿化；清运器械的购置、操作、维护费（含检测及检验）等。

## （2） 支出调查对象

调查的政府部门包括：各级政府及所属机关、部分国营事业单位（制造业与用水、电力及燃气供应业除外的国营事业单位），以设有单位预算的机关为统计对象。

产业部门包括：公民营制造业及用水、电力及燃气供应业，公民营制造业调查对象以场所（厂）为单位，用水、电力及燃气供应业则以企业为单位。产业部门的资本支出包括新购设备支出、新购土地支出；其经常支出包括租金、操作维护费、研究发展、委托民间处理费用。前两者费用之和减去污染防治附带收入为产业单位的污染防治支出。

## （3） 调查统计结果

从 2002 年<sup>[4]</sup>到 2014 年<sup>[5]</sup>，废弃物污染防治支出，及产业部门污染防治支出下降；废弃物污染防治支出在总体污染防治支出、政府部门污染防治支出、产业部门污染防治支出中的比例下降，从侧面反映了随着污染防治效率提高，废弃物清除处理成本降低。

### 2.3.2 以征收清除处理费为目的的成本核算

九十年代末期，台湾省通过研究发现许多先进国家的垃圾收费制度渐渐由“定额费用制”（flat rate）演变为“变动费用制”（variable rate）；前者是不论垃圾量多寡，均收取固定费用，或按其他变量，如住宅面积大小收费。而后者则是根据家户垃圾之重量多少（weight-based）或体积大小（volume-based）收取不同垃圾费。并预测了变动费用制可能导致的结果，包括增加回收量、鼓励垃圾减量行为、回收减少公众减量动机、非法转移垃圾、过度压缩垃圾、影响低收入家庭可支配收入、垃圾清理财源不稳定、增加管理成本、多单位家庭住宅难以管理、对官员的信任产生影响等<sup>[6]</sup>。

台湾省逐步采用变动费用制，根据《一般废弃物清除处理收费办法》，台湾省环境政策遵循污染者付费和使用者付费原则，废弃物处理费反映清除、处理成本，依据垃圾量征收一定比例的清除、处理费。其中，垃圾计量征收清除处理费

的计算公式为：

$$\begin{aligned} & \text{每单位容积（升）应征收之金额} \\ &= \frac{\text{地方一般废弃物清除处理总成本（元）} \times \text{地方平均单位容积垃圾重量（kg/L）}}{\text{地方全部垃圾处理设施年处理垃圾总量（t）} \times 1000 \text{（kg/t）}} \end{aligned}$$

其中：

$$\begin{aligned} & \text{地方全部垃圾处理设施计年处理垃圾总容量(t)} \\ &= \text{地方各垃圾焚烧厂设计日处理容量总和(t/日)} \times 365 \text{(日)} \times 85\% \\ &+ \text{地方各垃圾厂每日处理量（t/日）} \times 365 \text{（日）} \end{aligned}$$

垃圾清除处理成本指从垃圾收集、清运到处理阶段所花费的全部成本，如按照经济成本法估算机会成本的概念，可以分为固定成本（如土地成本、兴建成本及设备成本等）和变动成本（管理成本、机具操作维护成本），应依使用年限计算年均成本；如按会计成本法则是依法定使用年限计算每年应分摊的折旧费，以及实际入账的成本。

从 2000 年开始，台北市率先将垃圾费收费制度改为“随袋征收”，之后部分县市也引入该项制度。实施垃圾费随袋征收制度后（也包括其他政策的效果），2008 年台北市，垃圾产生量减量 达 31.35%，垃圾清运量减量 54.65%。<sup>[7]</sup>，垃圾袋制作及管理成本增加有限，仅为每吨垃圾处理费的 6%，民众负担的垃圾处理费为之前随水费征收的三分之一<sup>[8]</sup>。

### 2.3.3 专题成本收益分析

为了从经济上评判废弃物选择填埋、焚烧或者回收利用<sup>[9]</sup>的不同处理方式，咨询机构或学者对不同处置方式的成本进行比较。这些研究通常采用生命周期评价框架进行成本收益分析。如：（1）对废铝箔包及废纸盒包回收清除处理之成本效益评估<sup>[9]</sup>，进行废铝箔包及废纸盒包不同清除处理方式的成本效益比较；（2）电子电器资源回收之经济分析研究<sup>[10]</sup>，提出在资源回收理论中，回收与否主要决定于回收之净利益是否为正，计算方法为“回收净收益=回收收益（不回收机会成本）-回收成本=（初级原料之投入成本+垃圾处理成本）-（回收行动之投入成本+污染成本）”；（3）废食用油回收、PVC 管制及一般废弃物清除处理成本估算专案工作计划<sup>[11]</sup>，组织对废弃物的产生单位（如家户、机关学校、制造行业）、回收再利用机构进行调查，以鱼骨图的方式建立多级成本目录进行核算。另外，还有废弃混凝土再生利用成本效益分析<sup>[12]</sup>、印刷电路板业废弃物处理成本效益分析<sup>[13]</sup>等，说明废弃物清除处理成本是可以通过调查及设计科目表进行核算的，且

其成本收益分析可以作为决策的依据。

## 2.4 遵循污染者付费原则

污染者付费原则（PPP）是指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。台湾省生活垃圾随袋征费的依据是单位垃圾清除处理成本、责任业者（物品及其容器的制造及输入业者）缴纳清除处理费的费率依据是回收处理业的清除处理成本。实现污染者缴费与处置全成本的挂钩，才能激励污染者减少废弃物产出，在调整生活方式或消费方式，以及生产方式的过程中发展新技术，真正实现绿色发展。

## 3 北京市生活垃圾焚烧社会成本评估方法

国内目前没有公开的的生活垃圾管理成本的专项核算，仅有政府部门公共财政决算报告的相关预算支出数额，如环保部部门决算中的“固体废弃物与化学品”项目支出、城市环境卫生管理部门的“城乡社区环境卫生”项目支出，缺乏详细和系统的支出数据，分析价值有限。

近年来，国内对生活垃圾管理成本的研究逐渐增多。在成本项目划分上，主要是基于废弃物管理生命周期和固定或可变成本的划分；在成本数据来源上，有直接从运营单位采集的数据和根据单位垃圾处理成本进行概算的数据。如林鉴军等利用焚烧发电厂投资概算数据和估计的可变成本，对焚烧厂总体成本进行估计<sup>[14]</sup>，据文章数据可以计算出每吨垃圾焚烧成本为 105.43 元<sup>5</sup>；杨建军等提出“排放到环境中的污染物全部治理成本为虚拟成本”的概念，并核算出 2009 年每吨一般工业固废的实际成本与虚拟成本之和为 69.27 元；姜建生等利用深圳市几个焚烧厂的投资数据和估计的运营成本核算出深圳每吨生活垃圾的平均处理费为 178.0 元。现有研究存在的问题包括：第一，从企业投资角度出发，未考虑公共财政补贴支出，低估处理成本；第二，处于概算层面，没有细致的成本科目，数据缺乏准确性；第三，未考虑焚烧厂二噁英类危险空气污染物排放对人群健康的影响。

本研究组曾从直接运营主体的视角出发，通过调研及可靠公开数据对北京市生活垃圾从收集、运输、转运到填埋的固定、可变成本进行估算，得出 2012 年

---

5 2007 年 1000t/d 的焚烧厂年运行成本为 2500 万元，建设成本为 3.37 亿元（18MW），25 年固定资本折旧，可得每吨生活垃圾焚烧成本为 105.43 元。

北京市生活垃圾填埋成本为 1530.7 元/t<sup>[15]</sup>，并区分了生命周期不同阶段的成本<sup>[15]</sup>。近年来，企业通过特许经营运营焚烧厂已成管理趋势，亟需从公共支出（损失）的视角出发，估计生活垃圾焚烧的社会成本。

### 3.1 生活垃圾焚烧社会成本

社会成本（social cost）最早由西斯蒙第（Sismondi, 1773—1842）在《政治经济学新原理》中提出，企业应承担“不当节约”行为所造成的别人的社会的成本。福利经济学创始人庇古（Arthur Cecil Pigou, 1877—1959）提出“外部效应”，认为只要有外部效应的存在，即使是完全竞争的经济，资源配置也不可能达到最优<sup>[16]</sup>。科斯（Ronald H. Coase, 1910—2013）从外部性问题出发，认为通过界定双方权利，要选择实现交易成本为零、收益最大化的资源配置方案。目前，社会成本的概念被用来分析各类经济行为对社会造成的影响。社会成本通常指社会因企业生产（消费者消费）而需承担的成本。因而，生活垃圾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的全部成本，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。本报告所涉及的政府优惠政策及其法律依据如表 3-1 所示。

表 3-1 生活垃圾焚烧处置财政优惠政策清单

分类	规定名称	内容	制订主体	来源
土地 划拨	《划拨用地目录》（2001）	目录内项目可获得划拨土地	国土资源部	<a href="http://www.gov.cn/gongbao/content/2002/content_61572.htm">http://www.gov.cn/gongbao/content/2002/content_61572.htm</a>
	《市国土房管局关于北京市实施国土资源部〈划拨用地目录〉细则的通知》（2002）	目录内项目可获得划拨土地	北京市国土房管局	<a href="http://www.china.com.cn/chinese/PI-c/246297.htm">http://www.china.com.cn/chinese/PI-c/246297.htm</a>
	《城市生活垃圾处理和给水与污水处理工程建设用地指标》（2005）	城市生活垃圾焚烧处理工程项目的建设用地指标，应按工程建设规模确定。	原建设部	<a href="http://www.mlrgov.cn/zwgk/gfbz/200805/t20080513_672805.htm">http://www.mlrgov.cn/zwgk/gfbz/200805/t20080513_672805.htm</a>
建设 投资	《关于请组织申报 2015 年中央预算内投资城镇污水垃圾处理设施设备选项项目的通知》（2015）	中央预算优先支持焚烧设施及配套宣教设施投资	国家发改委 住房城乡建设部	<a href="http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201504/t20150403_672334.html">http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201504/t20150403_672334.html</a>
垃圾 处理 费	《北京市朝阳区人民政府关于同意北京高安屯生活垃圾焚烧厂单位垃圾处理服务费及调价公式的批复》（2009）	同意处理费及调价公式商业运营日起每 2 年调整一次，根据飞灰、炉渣、渗沥液、炉渣、物价、上网电价调整	北京市朝阳区人民政府	<a href="http://www.bjchy.gov.cn/affair/zfjd/ggws/8a24f09a24ecf40801252e54d06f015c.html">http://www.bjchy.gov.cn/affair/zfjd/ggws/8a24f09a24ecf40801252e54d06f015c.html</a>
电价 补贴	《新能源基本建设项目管理的暂行规定》的通知（1997）	垃圾发电属于新能源	原国家计委	<a href="http://www.110.com/fagui/law_47390.html">http://www.110.com/fagui/law_47390.html</a>

	《可再生能源发展有关问题的通知》（1999）	可再生能源发电项目可由银行优先安排基本建设贷款；可再生能源发电项目给予 2% 财政贴息 电网管理部门必须允许就近上网，并收购全部上网电量 发电项目在还款期内实行“还本付息+合理利润”的定价原则	原国家计委 原科技部	<a href="http://www.rfdy.org/view-86274-1.html">http://www.rfdy.org/view-86274-1.html</a>
	关于印发《资源综合利用目录（2003 年修订）》的通知	生活垃圾发电属于综合利用“三废”生产的产品	国家发改委	<a href="http://zfxgk.ndrc.gov.cn/PublicItemView.aspx?ItemID={feab681d-ed99-40de-bfdb-678149348630}">http://zfxgk.ndrc.gov.cn/PublicItemView.aspx?ItemID={feab681d-ed99-40de-bfdb-678149348630}</a>
	《北京市物价局关于承诺北京高安屯垃圾焚烧厂上网电价的函》（2003）	同意待项目投产后按照经营期内满足合理运行成本及费用支出、税金，还贷付息，适当盈利等原则核定上网电价	北京物价局	<a href="http://www.34law.com/lawfg/law/1797/3021/print_894324162424.shtml">http://www.34law.com/lawfg/law/1797/3021/print_894324162424.shtml</a>
	关于印发《国家鼓励的资源综合利用认定管理办法》的通知（2006）	申报资源综合利用发电单位条件：符合国家或行业有关标准或规范；垃圾数量及品质需有地（市）级环境卫生主管部门出具的证明材料；每月垃圾的实际使用量不低于设计额定值的 90%；垃圾焚烧发电采用流化床锅炉掺烧原煤的，垃圾使用量应不低于入炉燃料的 80%（重量比），必须配备垃圾与原煤自动给料显示、记录装置	国家发改委	<a href="http://www.gov.cn/zwgk/2006-09/13/content_387619.htm">http://www.gov.cn/zwgk/2006-09/13/content_387619.htm</a>
	关于印发《可再生能源电价附加补助资金管理暂行办法》的通知（2012）	垃圾发电属于可再生能源	财政部 国家发改委 国家能源局	<a href="http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefagui/201203/t20120329_638930.html">http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefagui/201203/t20120329_638930.html</a>
	《国家发展改革委关于完善垃圾焚烧发电价格政策的通知》（2012）	每吨入厂垃圾按发电 280 千瓦时折算，每千瓦时 0.65 元，其余电量执行当地同类燃煤发电机组上网电价；省级电网负担 0.1 元，电网企业以销售电价予以疏导，纳入全国征收的可再生能源电价附加	国家发改委	<a href="http://www.nea.gov.cn/2014-09/29/c_133682178.htm">http://www.nea.gov.cn/2014-09/29/c_133682178.htm</a>
	《国家税务总局关于垃圾处置费征收营业税问题的批复》（2005）	处置垃圾取得的垃圾处置费，不征收营业税	国家税务总局	<a href="http://www.chinatax.gov.cn/n810341/n810765/n812188/n812895/c1198629/content.html">http://www.chinatax.gov.cn/n810341/n810765/n812188/n812895/c1198629/content.html</a>
	《关于资源综合利用及其他产品增值税政策的通知》（2008）	销售垃圾处理厂渗透（滤）液再生水免征增值税 销售垃圾发电量增值税即征即退	国家税务总局	<a href="http://fina.shqp.gov.cn/gb/content/2010-09/17/content_341699.htm">http://fina.shqp.gov.cn/gb/content/2010-09/17/content_341699.htm</a>
税收减免	《国家税务总局关于资源综合利用企业所得税优惠管理问题的通知》（2009）	资源综合利用取得的收入，减按 90% 计入当年收入总额	国家税务总局	<a href="http://www.chinatax.gov.cn/2013/n1586/n1593/n1685/n1690/c254213/content.html">http://www.chinatax.gov.cn/2013/n1586/n1593/n1685/n1690/c254213/content.html</a>
	《中华人民共和国企业所得税法》（2007）	企业从事公共垃圾处理的所得，三免三减半	全国人大	<a href="http://www.gov.cn/flfg/2007-03/19/content_554243.htm">http://www.gov.cn/flfg/2007-03/19/content_554243.htm</a>
	《中华人民共和国企业所得税法实施条例》（2007）	设备的投资额的 10% 可以从企业当年的应纳税额中抵免	国家税务总局	<a href="http://www.gov.cn/zwgk/2007-12/11/content_830645.htm">http://www.gov.cn/zwgk/2007-12/11/content_830645.htm</a>

		财政部 国家发改 委 海关总署 国家税务 总局	<a href="http://www.chinatax.gov.cn/n810341/n810765/n812151/n812381/c1082225/content.html">http://www.chinatax.gov.cn/n810341/n810765/n812151/n812381/c1082225/content.html</a>	
关于调整《国内投资项目不予免税的进口商品目录》的公告（2012）	小型生活垃圾焚烧炉（日处理能力不超过 600 吨）不免征关税			
《关于加快发展节能环保产业的意见》（2013）	以地方政府和企业投入为主，中央财政适当支持，加快污水垃圾处理设施和配套管网地下工程建设	国务院	<a href="http://www.gov.cn/zwjk/2013-08/11/content_2464241.htm">http://www.gov.cn/zwjk/2013-08/11/content_2464241.htm</a>	
关于调整重大技术装备进口税收政策有关目录及规定的通知（财关税[2015]51 号）	进口日处理能力超过 600 吨的生活垃圾焚烧炉及其烟气净化装置免征关税和进口环节增值税	财政部 海关总署 国家发改 委 工信部 国家税务 总局 国家能源 局	<a href="http://www.miit.gov.cn/newweb/n1146285/n1146352/n3054355/n3057278/n3057290/c4525469/content.html">http://www.miit.gov.cn/newweb/n1146285/n1146352/n3054355/n3057278/n3057290/c4525469/content.html</a>	
《外商投资产业指导目录（2015）》	鼓励外商投资产业包括：固体废物处理处置设备制造，免征关税和进口环节增值税	国家发改 委 商务部	<a href="http://www.fdi.gov.cn/1800000121_23_72150_0_7.html">http://www.fdi.gov.cn/1800000121_23_72150_0_7.html</a>	
其他 补贴	《中华人民共和国清洁生产促进法（2003）》	国务院应当制定有利于实施清洁生产的财政税收政策	国家发改 委 原环境保 护总局	<a href="http://www.npc.gov.cn/wxzl/gongbao/2012-05/29/content_1728285.htm">http://www.npc.gov.cn/wxzl/gongbao/2012-05/29/content_1728285.htm</a>
	《清洁生产审核暂行办法》（2004）	减少有毒有害物料的使用、产生，降低能耗、物耗以及废物产生的方案，进而选定技术经济及环境可行的清洁生产方案	国家发改 委 原环境保 护总局	<a href="http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbl/20050630_26925.html">http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbl/20050630_26925.html</a>
	国家发改委办公厅关于组织实施环境保护关键技术国家重大产业技术开发专项的通知（2004）	固体废物处理处置技术，重点开发：城市垃圾卫生填埋、焚烧与有机生化处理技术	国家发改 委	<a href="http://www.nbdpc.gov.cn/cat/cat276/con_276_30924.html">http://www.nbdpc.gov.cn/cat/cat276/con_276_30924.html</a>
	北京市贯彻落实《国家鼓励的资源综合利用认定管理办法》实施细则（2012 年修订）	垃圾焚烧炉建设及其运行符合国家或行业有关标准或规范；使用的垃圾数量及品质需有市、区（县）级环卫主管部门出具的证明材料；每月垃圾的实际使用量不低于设计额定值的 90%；垃圾焚烧发电采用流化床锅炉掺烧原煤的，垃圾使用量应不低于入炉燃料的 80%（重量比），必须配备垃圾与原煤自动给料显示、记录装置	北京市发 改委 北京市财 政局 北京市国家 税务局 北京市地 方税务局	<a href="http://zhengbao.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=BMZB201303008&amp;dbcode=CJFZ&amp;dbname=">http://zhengbao.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=BMZB201303008&amp;dbcode=CJFZ&amp;dbname=</a>
	北京市振兴发展新能源产业实施方案（2010）	大力推进大型高效生活垃圾焚烧炉发电、填埋气净化液化、二噁英抑制等关键技术研发和产业化，提升循环流化床生活垃圾焚烧发电技术系统整体水平	北京市发 改委	<a href="http://www.bjpc.gov.cn/zwx/gzdt/lssj/201003/t9791212.htm">http://www.bjpc.gov.cn/zwx/gzdt/lssj/201003/t9791212.htm</a>

### 3.2 生活垃圾焚烧社会成本的核算边界

城市生活垃圾的处理过程如图 3-1 所示，生活垃圾由专用垃圾运输车辆送进焚烧厂区，驶上地磅进行称重，然后按指定路线驶向垃圾卸料平台，将垃圾卸入垃圾储坑，储坑下方有渗沥液收集池，上方有垃圾吊。渗沥液可能由厂区内的污水处理站处理后由专用管道送至城区污水处理厂，或由厂区渗沥液处理系统处理。

垃圾吊将垃圾送入焚烧炉，焚烧炉一般由一些固定的或移动式炉排构成，生活垃圾在这些炉排上被点燃燃烧，空气从炉排下部或两边被送入炉膛。底灰从炉排的末端落入底灰系统，被定期收集清除，这些可能被填埋或经过处理形成建筑材料。高温烟气在燃烧区停留一定的时间从而使气体重复燃烧并进行初步冷却，高温烟气在离开焚烧炉后将通过余热锅炉产生蒸汽，蒸汽经过汽轮发电机组发电上网。在最糟的情形下，夹杂着飞灰颗粒的烟气直接排入大气，在技术和管理更先进的焚烧厂，烟气通过烟气处理间的空气污染控制（APC）系统，至少包括一个除尘装置，如静电除尘器（ESP）、袋式除尘器或纤维过滤器或湿式洗涤除尘器；随后可能还会有几级烟气净化系统，对进入烟囱的废气起到一定净化作用。烟气净化后的飞灰由于浓缩了垃圾中的重金属以及如二噁英类物质（PCDDs）、呋喃类物质（PCDFs）等危险废物，需运至危险废物填埋场安全处置。净化后的废气通过烟囱排入大气<sup>[17-20]</sup>，这些废气中仍然存在危险空气污染物。

生活垃圾焚烧社会成本包括：（1）在这一过程中，由公共财政直接或间接支付的、跨越焚烧厂界的资金；（2）公众因焚烧处置生活垃圾而承担的健康成本，主要是二噁英致癌健康损失。核算边界如图 3-1 所示。

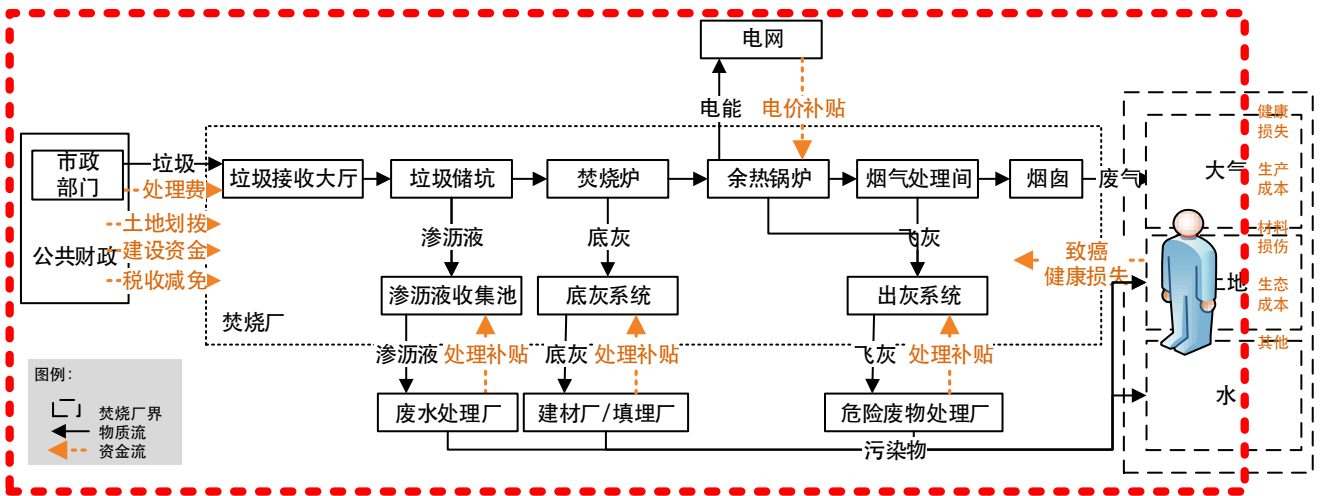


图 3-1 生活垃圾焚烧系统及社会成本核算边界

### 3.3 生活垃圾焚烧社会成本计算方法

边界内的成本可分四类：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，包括垃圾处理费、电价补贴、渗沥液补贴、飞灰补贴、底灰补贴等；三是税收减免，即相

比其他工业产业，政府少征收的税收；四是废弃物排入环境中造成的公众健康损失、生产成本、材料损伤、生态成本等，本研究主要估算公众健康损失，并主要计算二噁英类物质的致癌损失。

可以根据以上分类建立年度垃圾焚烧成本（C）计算公式。另外，通过年度垃圾焚烧成本与年度焚烧量可以获得单位生活垃圾的焚烧成本（A）。公式的进一步展开及核算方法如表 3-2 所示。

$$C_{\text{年度垃圾焚烧社会成本}} = F_{\text{固定成本}} + V_{\text{可变成本}} + T_{\text{税收减免}} + H_{\text{健康损失}}$$

$$A_{\text{单位垃圾焚烧社会成本}} = \frac{C_{\text{年度焚烧社会成本}}}{Q_{\text{年度焚烧量}}}$$

表 3-2 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 (F)	土地成本 (L)	$L = U * S * \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$	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)	$B = \frac{b}{30}$	b: 建设补贴
可变成本 (V)	垃圾处理费 (P)	$P = p * Q$	p: 单位垃圾处理费 Q: 年度垃圾处理量
	电价补贴 (E)	$E = E_{\text{上网电价补贴}} + E_{\text{超额供电补贴}}$	
	渗沥液补贴 (W)	$W = w * q$	w: 单位污水处理补贴 q: 污水处理量
	底灰处理补贴 (BA)	$BA = a_1 * b_1$	$a_1$ : 单位底灰处理补贴 $b_1$ : 底灰量
	飞灰处理补贴 (FA)	$FA = a_2 * b_2$	$a_2$ : 单位飞灰处理补贴 $b_2$ : 飞灰量
其他补贴 (O)	$O = \sum_{i=1}^n O_i$	$O_i$ : 清洁生产补贴、贷款优惠等	
税收减免 (T)		$T = \sum_{i=1}^n T_i$	$T_i$ : 企业所得税、营业税、增值税等减免
公众健康 损失 (H)	二噁英健康损失 (H)	$H = \sum_{i=1}^n Canrisk_i * dens * A_i * (Cost_l + Cost_c)$	i: 不同浓度区域的编码, $Canrisk_i$ : 不同浓度区域的二噁英致癌风险 dens: 每平方公里人口密度 $A_i$ : 不同浓度区域所占的面积 $Cost_l$ : 个体生命价值



类别	项目	公式	说明
			Cost <sub>t</sub> : 个体治疗费用

以下核算项目需要进一步说明：

### 3.3.1 电价补贴

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280kW·h，垃圾发电标杆电价0.65元，超过280kW·h执行当地同类燃煤发电机组上网电价<sup>[21]</sup>。垃圾发电补贴制度使垃圾焚烧发电补贴与垃圾处理费成为焚烧厂的主要收入，使垃圾焚烧厂成为投资热点。

在电价补贴下，社会负担的成本包括两部分，一是在280kW·h发电限额内的上网电价补贴（ $E_{\text{上网电价补贴}}$ ）；二是超过280kW·h，作为垃圾焚烧厂通过燃烧辅助燃料发电取得的经营范围以外的收益（ $E_{\text{超额供电补贴}}$ ）。

由于焚烧厂并不是燃煤发电厂，享受了土地划拨，建设补贴，底灰、飞灰处置等政策优惠，大部分固定成本及可变成本都不需企业承担，超过280kW·h的供电虽然按当地同类燃煤发电机组上网电价销售，但相对于燃煤发电厂，焚烧厂通过售电获得了更高的利润。即使按燃煤发电机组电价售电，其利润也应算作其获得的额外补贴。焚烧厂的超额售电的成本可用辅助燃料成本代表，超额供电补贴应为售电收入与辅助燃料成本之差。

因此，每吨垃圾的电价补贴公式为：

$$E = \begin{cases} E_{\text{上网电价补贴}} = (0.65 - e_1) * Q * g, & g \leq 280\text{kW} \cdot \text{h} \\ E_{\text{上网电价补贴}} + E_{\text{超额供电补贴}} = (0.65 - e_1) * Q * 280\text{kW} \cdot \text{h} + (e_1 - e_2)(g - 280\text{kW} \cdot \text{h}), & g > 280\text{kW} \cdot \text{h} \end{cases}$$

其中， $E$ 为年度电价补贴， $e_1$ 为当地燃煤发电机组上网电价， $Q$ 为年焚烧量， $g$ 为年度核算的每吨垃圾发电量， $e_2$ 为辅助燃料发电成本。

### 3.3.2 税收减免

国家对垃圾处理企业实施多方面税收优惠政策，相对于其他工业企业，这些税收优惠相当于给予企业的生产经营补贴。

#### 第一，营业税减免

取得的垃圾处置费，不征收营业税。根据《国家税务总局关于垃圾处置费征收营业税问题的批复》（国税函〔2005〕1128号），单位和个人提供的垃圾处置劳务不属于营业税应税劳务，对其处置垃圾取得的垃圾处置费，不征收营业税。这里所称的垃圾处置，是指专业从事垃圾处置的单位和个人提供的垃圾收集、中转运输、焚烧、填埋等业务。

#### 第二，增值税减免

垃圾处理再生水销售，实行免征增值税政策。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，对销售再生水实行免征增值税政策。再生水是指对污水处理厂出水、工业排水（矿井水）、生活污水、垃圾处理厂渗透（滤）液等水源进行回收，经适当处理后达到一定水质标准，并在一定范围内重复利用的水资源。再生水应当符合水利部《再生水水质标准》（SL368-2006）的有关规定。

垃圾焚烧发电，实行增值税即征即退。财政部与国家税务总局联合发布的《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）第三条第二款明确，对销售以垃圾为燃料生产的电力或者热力实行增值税即征即退政策。垃圾用量占发电燃料的比重不低于80%，并且生产排放达到《火电大气污染排放标准》（GB13223—2011）第1时段标准或者《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。

#### 第三，企业所得税减免。

资源综合利用取得的收入，减按90%计入当年收入总额。《国家税务总局关于资源综合利用企业所得税优惠管理问题的通知》（国税函〔2009〕185号）规定，符合条件的资源综合利用企业，自2008年1月1日起以《资源综合利用企业所得税优惠目录（2008年版）》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；当年不足抵免的，可以在以后 5 个纳税年度结转抵免。

公共垃圾处理项目的所得税，企业所得税享受“三免三减半”。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。

### 3.3.3 二噁英类物质排放造成的健康损失

#### (1) 二噁英的产生机制与排放控制

研究表明，在有含氯物质和金属存在的情况下，有机物的燃烧均会有二噁英产生<sup>[22]</sup>。城市生活垃圾中二噁英的产生途径主要有以下几种：(1) 垃圾中本身含有一定量的二噁英，这部分二噁英在焚烧中不能完全分解，进入焚烧产物中<sup>[23]</sup>；

(2) 由于垃圾不完全燃烧，垃圾中二噁英分解以及垃圾中本身含有的前体在 300℃ 到 800℃ 的条件下可以合成二噁英<sup>[24]</sup>；(3) 在温度在 250℃ 到 300℃ 的条件下，二噁英通过基元反应合成；(4) 通过聚合反应生成的多环芳烃 (PAH) 与含氯物质反应可能生成二噁英<sup>[25]</sup>。因此，控制二噁英的排放重点是控制废弃物的焚烧，从源头上减少垃圾焚烧的负荷，对废弃物进行减量，资源化和再利用<sup>[26]</sup>。

2015 年环保部发布《重点行业二噁英污染防治技术政策》中提出可以通过源头减量减少二噁英的产生，具体做法包括减少氯化物添加剂、避免含氯的油脂、油漆、涂料、塑料等物质入炉。另外，该文件还提出生活垃圾入炉前应充分混合、排除渗滤液，提高入炉生活垃圾热值<sup>[27]</sup>。因此，通过塑料制品的回收、厨余垃圾的减量能够降低氯元素含量，提高入炉垃圾的热值，保持焚烧系统连续稳定运行，减少二噁英类物质等危险空气污染物的产生与排放。除此之外，末端治理仍是必不可少的手段，包括“半干法脱酸+活性炭喷射吸附二噁英+布袋除尘器除尘”的烟气组合处理工艺。

作为危险废弃物，飞灰的收集和储存过程须执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)，转移时执行《危险废物转移联单管理办法》，垃圾焚烧飞灰并不是化学惰性物质，其中含有能被水浸出的 Cd、Pb、Zn、Cr 等多种有害重金属物质和盐类，二噁英也是潜在的重要环境污染物。根据《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485-2014)，飞灰经过处理后如达到各类污染物浸出毒性标准，可以填埋处理，但应单独分区填埋。《危险废物污染防治技术政策》(2001) 要求，生活垃圾焚烧飞灰在产生地必须进行必要的固化和稳定化处理之后方可运输，运

输需使用专用运输工具,运输工具必须密闭。近年来,存在飞灰未固化非法倾倒、飞灰与生活垃圾一起填埋的报道<sup>6</sup>,因此,飞灰是否能完全按照现有标准处置并不确定。

## (2) 二噁英的检测方法

根据环境保护部《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485-2014)的规定,生活垃圾焚烧厂运行企业应按照有关法律和《环境监测管理方法》等规定,制定监控方案,定期对污染物的排放情况及其对周边环境质量的影响开展自行监测,保留原始监测记录,并公布监测结果。对于烟气中二噁英的检测,至少每年应开展一次,其浓度为连续3次测定值的算术平均值,测定方法依据《环境空气和废气 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨率质谱法》(HJ 77.2-2008)的规定,使用国际公认的检测二噁英的方法,高分辨气相色谱结合高分辨质谱联用技术(HRGC/HRMS)进行检测<sup>[27]</sup>。

然而,赵树青等人在对国内生活垃圾厂二噁英污染情况进行研究时指出,目前企业定期公开的监控数据多为其在最佳工况时的测定结果<sup>[28]</sup>。常规的短期二噁英采样监测中,对焚烧烟气检测的覆盖率仅占焚烧时间的0.1%到0.2%。研究表明,在垃圾焚烧的开始,结束以及非正常运行阶段的二噁英排放量占总排放量的40%到60%,因此短期监测检测无法反映真实的二噁英排放情况<sup>[29]</sup>。欧洲国家在对垃圾焚烧产生的烟气中的二噁英进行定期监测的基础上,开发了烟道气连续采样装置,对烟道气进行几天到一个月的长期采样,从而可以反映一个周期内二噁英排放情况。此外,由于《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485-2014)中对于监测信息的公开没有明确的要求,一些生活垃圾焚烧企业定期公开的二噁英监控数据中除了二噁英浓度数据外,还包括监测时的相关排放参数如烟气流量,流速和烟气出口温度等,而部分垃圾焚烧厂仅有二噁英的浓度数据,无法核算总的二噁英排放量。因此,焚烧厂公布的浓度达标数据并不能保证二噁英排放能实现连续达标,且无法评估二噁英的减量效果。

## (3) 二噁英的健康损害

暴露在含有二噁英的环境中,可引起皮肤痤疮、头痛、失聪、忧郁、失眠等

---

6. 中国经营报,光大国际急速扩张背后:“危废”处置隐患重重,2015。

杭州下城环保分局,杭州市危险废物环境管理浅析,2013。

吕宗恕,明知违规,也难关停,“绑架”武汉的飞灰遗祸,2013。

山西省环保厅,2013年危险废物规范化管理考核不达标单位,2013。

症状，并可能导致染色体损伤、心力衰竭、癌症等。二噁英具有不可逆的致畸、致癌、致突变的特性<sup>[30]</sup>。由于癌症的治疗成本、死亡率相对于其他疾病高，因此，本研究仅计算二噁英造成的早逝成本及治疗成本，以此代表二噁英的健康损失成本。

#### (4) 健康损失评估方法

二噁英作为一种持久性有机物，对动物和人体都有着不可估量的损害，高浓度的二噁英会对免疫系统的发育造成损害，引发持久性的健康效应<sup>[31, 32]</sup>。二噁英健康风险评价在环境健康风险评价的框架中，采用危害鉴别、剂量—反应关系评价、暴露评价、风险表征四步法<sup>[33]</sup>，涉及的方法包括欧洲、美国的各种风险评估模型，如Vlier-Humaan、CSOIL、CSOIL等。如齐丽等<sup>[34]</sup>用Vlier-Humaan模型计算了北京某垃圾焚烧厂二噁英污染特征及对应的呼吸暴露值，与WHO推荐的每日最大冗余设计量 $4.0\text{pg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ 比较，认为低于这一值的10%，认为处于较安全水平，但重污染季节风险较高；胡习邦<sup>[35]</sup>等用Vlier-Humaan模型计算了珠三角多介质中PCDD/Fs的风险水平，认为儿童每日摄入量高于WHO推荐标准，存在一定健康风险；杨杰<sup>[36]</sup>等基于蒙特卡罗法对一座拟建设的垃圾焚烧产生的二噁英的多途径暴露风险进行了估算，得出食物是人体摄入二噁英的主要途径。向明灯等人使用美国EPA的风险暴露计算方法，结合实地浓度检测，对垃圾焚烧厂附件的健康风险进行了评估，并为合理选址提供了依据<sup>[37]</sup>，国内关于二噁英健康风险的研究有的只进行到暴露评价，有的仅涉及单一污染源数据，有的暴露途径选择不全面，没有针对某一区域全部人群健康风险和健康损失的评估。

本文使用美国加州环保局空气扩散与风险评估工具(ADMRT)<sup>[38]</sup>，计算过程为：第一，利用采用美国环保署空气扩散模型(AERMOD)<sup>[39]</sup>计算焚烧厂空气污染物的落地点浓度，这一浓度是未确定污染物化学成分的浓度<sup>[40]</sup>，输出针对每个定义受体所在坐标的最大一小时落地点浓度、年均落地点浓度。第二，将这两个文件输入ADMRT，该模型是美国加州有毒空气污染物热点计划(Hot Spots Program)中基于健康风险评估导则<sup>[41]</sup>开发的软件，可在AERMOD的输出数据基础上评估致癌和非致癌(急性和慢性)的健康影响。基于ADMRT，可以计算出二噁英的落地点浓度，并据此计算出不同落地点浓度条件下通过空气、土壤、水、食物等暴露途径导致的终身致癌风险。第三，终身致癌风险与对应区域的人口数量之积为该区域每年可能致癌人数。第四，基于“工资—风险”法计算的个体生命价值、基于查阅文献获得北京市癌症治疗费用，二者之和为个体患癌健康损失。最后，用一定地区的年致癌人数与健康损失之积可以计算出这一地区的年度健康损失。

二噁英排放造成的健康损失可以用公式表示为：

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

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

## 4 北京市焚烧厂固定成本、可变成本和税收减免评估

使用以上框架，以高安屯、鲁家山、顺义三个焚烧厂为例，计算除健康损失以外的焚烧社会成本。数据来源包括：政府网站、统计年鉴、环境影响评价报告、权威新闻报道、期刊文献，部分数据为以上资料的数据，部分数据根据指标间关系推算。

### 4.1 高安屯垃圾焚烧发电厂（一期）

高安屯垃圾焚烧发电厂（一期）位于北京市朝阳区楼梓庄乡朝阳区循环经济产业园内。北京高安屯垃圾焚烧有限公司经营，金州固废管理股份有限公司、北京国朝国有资产运营有限公司、北京金州工程有限公司为注册投资者<sup>[42]</sup>，项目以 BOT 模式（build-operate-transfer）运营，总投资约 8 亿元，由北京高安屯垃圾焚烧有限公司自筹解决<sup>[43]</sup>。朝阳区通过协商谈判方式，选择金州环境投资股份有限公司并授予其 30 年特许经营权（含建设期）。从登记信息看，朝阳区属的北京国朝国有资产运营有限公司以土地、道路等基础设施作价入股占 11.1%。2014 年 12 月，北京控股有限公司收购该厂。

项目 2005 年 11 月动工，2008 年 7 月点火试运行。设计处理量为 1600t/d，配置两条 800t/d 焚烧线及 2 台 1.5 万 kW 汽轮发电机组。主要处理朝阳区的分类生活垃圾、小武基垃圾转运站的筛上物，在处理能力富余时还处理东城、通州等区的部分生活垃圾<sup>[44]</sup>。

#### 4.1.1 固定成本

##### （1）土地成本

高安屯垃圾焚烧发电厂（一期）占地面积 70 亩<sup>[43]</sup>。2003 年北京国朝国有资产运营有限公司认缴出资土地使用权入股 3042.496 万元<sup>[42]</sup>，相隔 11 年，到 2014

年实缴出资,实缴平均地价为 43.46 万元/亩,贴现率 6%<sup>7</sup>,折算到 2015 年为 46.07 万元/亩。然而,2015 年,该地区工业用地平均价格为 88.67 万元/亩<sup>[45]</sup>。相当于 2015 年末支付土地补贴 42.60 万元/亩,70 亩共 2982 万元。根据等额序列支付现值系数<sup>8</sup>,土地年补贴租金为 187.64 万元。

## (2) 建设成本

由于总建设投资约 8 亿元,全部由北京高安屯垃圾焚烧有限公司自筹解决,建设成本不计入社会成本<sup>[43]</sup>。

### 4.1.2 可变成本

#### (1) 垃圾处理费

焚烧厂按照内部收益率 8%测算,谈判确定单位垃圾处理服务费标准为 150 元/t<sup>[43, 46]</sup>,截止 2016 年 5 月 5 日,该费用未改变<sup>9</sup>。2015 年,根据朝阳区循环经济产业园公布数据,该厂以年 125%的负荷率处理 72.82 万 t 的垃圾<sup>[47]</sup>。年度垃圾处理费为 10923.05 万元。

#### (2) 电价补贴

2015 年,焚烧厂发电 24965.8 万 kW·h<sup>[47]</sup>,按照 13%<sup>10</sup>的自用率计算,上网电量为 21720.27 万 kW·h,每吨生活垃圾发电量为 342.84kW·h。上网电量为 298.27kW·h,超过 280 kW·h 的限额。

未超过部分电价 0.65 元/kW·h,北京燃煤发电上网电价为 0.3924 元/kW·h<sup>[48]</sup>,即每度电补贴 0.2576 元计算,补贴额度为 5252.38 万元。

超出部分为 18.27kW·h,按北京燃煤发电上网电价,售电收入为 7.169 元。每 kW·h 电的成本按照标准煤价格计算,1 kW·h 需 0.1229kg 标准煤<sup>11</sup>,即需要 2.245kg 标准煤,标准煤价格为 671.4 元/t<sup>12</sup>,即发电成本为 1.508 元,每吨垃

7 根据《国家发展改革委办公厅关于印发〈项目收益债券管理暂行办法〉的通知》(2015),项目投资内部收益率原则上应大于 8%,对于政府购买服务项目,或债券存续期内财政补贴占全部收入比例超过 30%的项目,或运营期超过 20 年的项目,内部收益率的要求可适当放宽,但原则上不低于 6%。本文取折现率 6%。

8 等额序列支付现值系数:  $A = P + \frac{I(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$ , (其中, A 为年值, P 为现值, i 为折现率)。

9 2016 年 5 月 5 日,到访高安屯生活垃圾焚烧厂确认仍是 150 元处理费。

10 自用电率 2010 年为 14.6%, 2011 年为 13.7%, 2013 年为 11.9%, 2014 年为 11.8%, 均值为 13%, 数据来源: 电力工业统计资料汇编(2010-2014)。

11 电力的折标准煤系数: 0.1229 千克标煤/千瓦时,《综合能耗计算通则》GBT2589-2008。

12 2011 年 6000 大卡以上煤炭车板价格为 760.69 元, 2011 年煤及制品价格指数 109.9; 2014 年煤及制品价格指数 97.0。2014 年标煤价格=(760.69/109.9)\*97; 数据来源: 中国统计摘要(2012、2015), 中国物价年鉴(2013)。

圾超额供电补贴为 5.661 元，总体超额供电补贴为 412.24 万元。

### (3) 渗沥液处理补贴

2015 年，焚烧厂处理渗沥液 17.202 万 t<sup>13</sup>，每吨生活垃圾渗沥液重量为 0.236t，渗沥液由焚烧厂内渗沥液处理系统处理，达到《北京市水污染物排放标准》(DB11/307-2005)中的三级限值后，排入坝河，处理工艺为“调节池+厌氧+MBR 膜生化反应器（反硝化池/硝化池/外置超滤膜）+纳滤（NF）+反渗透(RO)的组合工艺”<sup>[49]</sup>。由于渗沥液由焚烧厂处理，没有补贴<sup>14</sup>。

### (4) 底灰处理补贴

2015 年，焚烧厂底灰产生量为 19.034 万 t<sup>15</sup>，每吨生活垃圾底灰重量为 0.261t。底灰运至园区填埋场填埋，填埋费用为 85 元/t，由焚烧厂承担。但该费用并非市场价。根据以往研究，填埋厂填埋的实际成本为 383.0 元/t（2012 年数据），以 6%的折现率折算到 2015 年为 456.16 元/t，相当于超过 85 元/t 的 371.16 元/t 为底灰处理补贴。因此，底灰处理补贴为 7064.78 万元。

### (5) 飞灰处理补贴

2015 年，焚烧厂飞灰产生量为 1.6 万 t<sup>16</sup>，每吨生活垃圾飞灰重量为 0.022t。飞灰委托有资质的危废处置单位，即琉璃河水泥厂处置。焚烧厂承担处置费 1580 元/t。假设琉璃河水泥厂在不获得其他政府补贴的情况下处置飞灰，且能实现完全无害化处置，因此不计算额外的飞灰处理补贴。

实际上，根据 2012 年报道<sup>[50]</sup>，1580 元/t 的处理费在 2012 年时成本和收入基本持平，该费用远低于国际上熔融和固化处理每吨 4000 元-6000 元的费用，水泥厂作为国有大型企业，是否没有额外补贴，是否能用更低的价格实现无害化处理，仍然需要进一步研究。

### (6) 其他补贴

2015 年获得 12.4 万元清洁生产补贴<sup>[51]</sup>。

---

13 朝阳循环经济产业园数据公开，减去多计算 5 天的渗沥液产生量。

14 2016 年 5 月 5 日，到访高安屯生活垃圾焚烧厂，工作人员表示没有额外政府补贴。

15 朝阳循环经济产业园数据公开，减去多计算 5 天的底灰产生量。

16 朝阳循环经济产业园数据公开，减去多计算 5 天的飞灰产生量。



### 4.1.3 税收减免

焚烧厂与北京市朝阳区人民政府签订的特许经营协议显示,增值税税率17%并享受即征即退优惠政策<sup>[46, 52]</sup>。2011年,朝阳国税局对焚烧厂送去退增值税1200余万元的优惠政策<sup>[53]</sup>。根据拟增资项目评估报告<sup>[52]</sup>预估,2015年,增值税退税收入为1435.73万元。

垃圾处理服务不属于营业税征税范围,不征收营业税<sup>[46]</sup>。按照5%的税率计算,2015年,垃圾处理服务费未征收的营业税为546.15万元。

《中华人民共和国企业所得税法实施条例》,规定,政府将国家重点公共设施项目实行“三免三减半”的税收优惠,即符合条件的企业从取得经营收入的第一年至第三年可免交企业所得税,第四年至第六年减半征收。高安屯取得北京市朝阳区国家税务局第六税务所“朝国税备减免(2010)93000094”企业所得税减免税备案登记书。2012-2014年度属于所得税减半征收期,2015年以后所得税率恢复25%<sup>[52]</sup>,因此不计算所得税减免。

### 4.1.4 核算结果

在以上数据基础上,根据社会成本核算方法,计算出2015年,高安屯焚烧72.82万t生活垃圾获得的补贴项目为2.58亿元,每吨生活垃圾补贴项目为354.77元。不考虑健康损失的话,较填埋成本456.16元/t,节省了22.23%。核算结果如表4-1所示。

表 4-1 高安屯生活垃圾焚烧发电厂(一期)社会成本(单位:万元)

成本项目	指标	高安屯垃圾焚烧发电厂一期	计算说明
固定成本	土地补贴	187.64	焚烧厂占地面积70亩,2015年该区工业用地基准地价88.67万元/亩,2014年企业付款43.46万元/亩,贴现率6%,计算购地补贴的年租金机会成本
	建设补贴	0.00	建设成本由企业解决
	垃圾处理	最近一年垃圾	
可变成本	处理费用	10923.05	处理费150元/t,2015年垃圾处理量72.82万t
	电价补贴	280度以内上网电价补贴	5252.38

280 度以上网电价补贴	412.24	每吨垃圾超出 280 限额 18.27kW·h, 每吨垃圾超额供电补贴 5.661 元
沼气发电补贴	0.00	无沼气发电
渗沥液补贴	0.00	厂内渗沥液处理系统处理
底灰补贴	7064.78	每吨生活垃圾底灰量为 0.26t; 在园区填埋, 费用 85 元/t; 按市场价核算应为 456.16 元/t, 差额算作补贴
飞灰补贴	0.00	企业承担, 市场价 1580 元/t
其他 清洁生产补贴	12.40	2015 年补贴
营业税	546.15	按垃圾处理服务费 0.5% 计算
发电增值税	1435.73	税率 17%, 即征即退, 增资项目报告推算
企业所得税	0.00	2015 已过“三免三减半”时间
健康损失 致癌健康损失	—	由于存在风险叠加, 三焚烧厂合并计算
年社会成本	25834.38	
单位垃圾社会成本 (元)	354.77	

#### 4.1.5 成本比例分析

各项社会成本之间的比例如图 4-1, 在社会成本的构成中, 垃圾处理费占 42%, 政府支付的垃圾处理费是焚烧厂最主要的收入; 底灰处理补贴占 27%, 政府以低价处理底灰的方式承担了成本; 电价补贴占 22%, 售电收入是焚烧厂收入的重要组成部分, 包括 280kW·h 范围内的 0.258 元/t 的补贴和超过 280kW·h 的盈利; 税收减免占 8%, 构成促进生活垃圾焚烧的可观的优惠政策。土地成本占 1% 左右, 说明政府通过授权国资管理公司以固定作价的土地使用权入股垃圾焚烧项目的方式, 为焚烧厂提供了一定补贴。

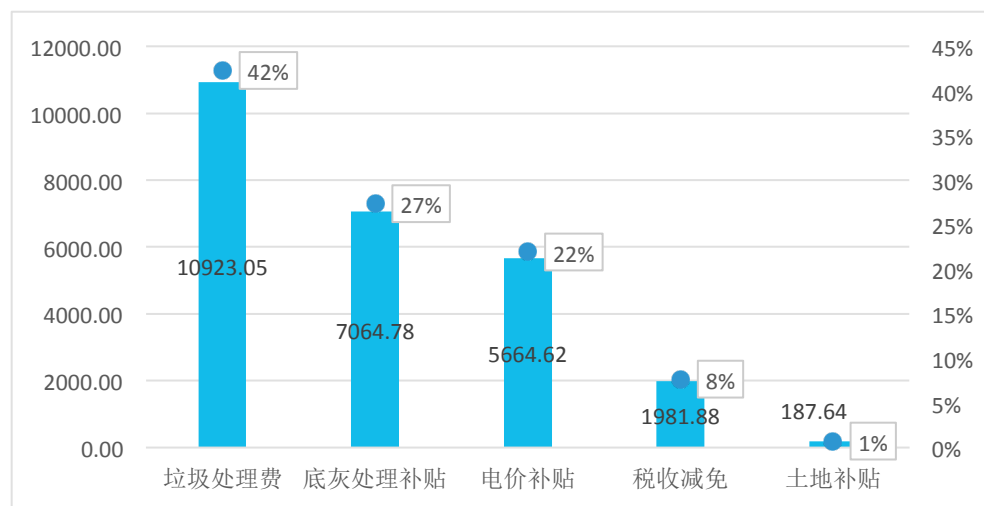


图 4-1 高安屯垃圾焚烧发电厂（一期）成本比例

## 4.2 鲁家山垃圾焚烧发电厂（一期）

鲁家山垃圾焚烧发电厂（一期）位于北京市门头沟区鲁家山石灰石矿南区矿区内。经营主体为北京首钢生物质能源科技有限公司。出资人曾是首钢总公司，目前为首钢环境产业有限公司<sup>[42]</sup>。根据项目竣工环保验收报告显示，该项目红线内由北京市政府和北京首钢总公司共同出资，双方各出资 50%。北京首钢生物质能源科技有限公司负责建设、运营和管理，经营期为 30 年。红线外水、电、路由北京市政府出资建设<sup>[54]</sup>。

建设用地位为 127364 m<sup>2</sup>（约 191）亩，项目总投资 214139 万元，其中环保投资 41695.70 万元，所占比例 19.5%。项目服务范围为门头沟、丰台、海淀、石景山的生活垃圾。设计处理量 3000t/d，年处理垃圾 100 万 t<sup>[54]</sup>。项目于 2011 年 1 月开工建设，2014 年 11 月正式投入使用，2014 年项目处于试运营阶段<sup>[55]</sup>，2015 年正常投入使用。

### 4.2.1 固定成本

#### （1） 土地成本

2013 年北京市政府批复划拨 21.6553 公顷（469.81 亩）<sup>17</sup>给北京首钢生物质能源科技有限公司使用，说明项目用地性质为划拨。本项目按照占地 127364 m<sup>2</sup>建设用地计算。2015 年，北京市该区域的基准地价为 625 元/m<sup>2</sup>。按照 50 年工业用地使用年限计算，年度土地使用机会成本为 505.03 万元。

#### （2） 建设成本

项目总投资 21.4139 亿元，北京市政府和北京首钢总公司共同出资，各出资 50%<sup>[54]</sup>，按照 30 年特许经营年限计算，北京市政府每年承担的建设投资折旧为

---

17 《北京市人民政府关于门头沟区二〇一三年度批次建设用地的批复》，京政地字[2013]181 号。

3568.98 万元。

## 4.2.2 可变成本

### (1) 垃圾处理费

焚烧厂配备 750t/d 的 4 座焚烧炉,设计处理能力为 3000t/d<sup>[56]</sup>,如按照 2015 年满负荷运转计算<sup>[57]</sup>,2015 年生活垃圾年处理量为 109.5 万 t。本研究按照实际公布数据为准,2015 年截至 12 月 15 日入厂垃圾为 100.24 万 t<sup>[58]</sup>,折算全年入厂量为 104.536 万 t。每吨垃圾的处理费为 173 元<sup>[59]</sup>。年度生活垃圾处理费为 18084.728 万元。

### (2) 电价补贴

2015 年,焚烧厂发电 2.94 亿度<sup>18[58]</sup>,按照焚烧厂自用 22%<sup>[56]</sup>计算,年上网电量为 22932 万 kW·h。每吨入厂垃圾发电量 281.24kW·h,每吨入厂垃圾上网电量 219.37kW·h,未超过每吨生活垃圾上网 280kW·h 的限额。电价补贴为 0.2576 元/kW·h,年度电价补贴约为 5907.283 万元。

### (3) 渗沥液处理补贴

不同季节渗沥液产生率不同,夏天为 30%-40%,冬天为 10%。渗沥液通过格栅、初沉池、调节池、厌氧 UBF 反应器、MBR 膜生化反应器、卷式渗透工艺由焚烧厂自行回收,用于出渣机冷却水飞灰用水、冲洗浇扫用水等。暂无额外渗沥液补贴。

### (4) 底灰处理补贴

每吨生活垃圾底灰产生量为 0.24t<sup>[54]</sup>,据此估算 2015 年鲁家山底灰产生量为 25 万 t,在残渣暂存厂建设前,交由北京首钢资源综合利用技术开发公司临时分选线进行加工处置。暂无额外补贴。

### (5) 飞灰处理补贴

每吨生活垃圾飞灰产生量为 0.093t<sup>[54]</sup>,由焚烧厂协议外运处置,价格为 1580 元/t,由企业承担费用。假设飞灰处理厂无额外政府补贴,且完全实现无害化处理,不计算飞灰处理社会成本。

---

18 访谈结果是 2.8 亿 kW·h,以公开报道数据为准。

### 4.2.3 税收减免

#### (1) 营业税

北京首钢生物质能源科技有限公司享受资源综合利用产品和劳务增值税优惠<sup>[60]</sup>，按照 5% 的营业税税率计算，垃圾处理服务费免除的营业税税额为 904.236 万元。

#### (2) 增值税

电力、燃料的增值税税率为 17%，水的增值税税率为 13%<sup>19</sup>。由于缺乏增值税计算相关数据，根据高安屯增值税减免与上网电量的比例进行折算，增值税减免额度为 1515.83 万元。

#### (3) 企业所得税

根据企业所得税“三免三减半”政策，2015 年焚烧厂处于免除企业所得税期间。不免除的情况下企业所得税税率为 25%<sup>20</sup>。以垃圾处理费、售电收入为主要收入项目，固定资产折旧、运营成本为支出项目，固定资产投资为 214139 万元，年运营成本为 20173 万元<sup>[61]</sup>，估算企业所得税为 1419.89 万元。

### 4.2.4 核算结果

根据社会成本核算方法，在 2015 年，计算出鲁家山焚烧 104.536 万 t 生活垃圾的补贴项目约为 3.19 亿元，每吨生活垃圾焚烧补贴为 305.22 元。不考虑健康损失的话，较填埋成本 456.16 元/t，节省了 33.09%。核算结果如表 4-2 所示。

表 4-2 鲁家山垃圾焚烧发电厂（一期）社会成本（单位：万元）

成本项目	指标	鲁家山垃圾焚烧发电厂	计算说明
固定成本	土地补贴	505.03	占地面积 127364 m <sup>2</sup> ，2015 该区域基准地价为 625 元/m <sup>2</sup>
	建设补贴	3568.98	总投资 214139 万元，北京市政府和北京首钢总公司各出资 50%，按照 30 年特许经营年限计算

19根据《中华人民共和国增值税暂行条例》（中华人民共和国国务院令 538 号）。

20根据《中华人民共和国企业所得税法》（中华人民共和国主席令第 63 号）。

垃圾处理费	最近一年垃圾处理费用 (2015)	18084.73	年处理量 104.536 万 t; 每吨处理费 173 元
电价补贴	280 度以内上网电价补贴	5907.28	每吨入厂垃圾上网电量 219.37kW·h, 未超过 280kW·h 限额; 每 kW·h 补贴 0.2576 元
	280 度以外上网电价补贴	0.00	未超过 280kW·h 限额
可变成本	沼气发电补贴	0.00	超级储仓气体回喷, 未单独发电
	渗沥液补贴	0.00	企业自行处理, 暂无额外补贴
	底灰补贴	0.00	企业自行处理, 暂无额外补贴
	飞灰补贴	0.00	外运处理, 市场价 1580 元/t, 暂无额外补贴
其他	清洁生产补贴	0.00	
税收减免	营业税	904.24	5%的税率, 垃圾处理服务费免除税额
	发电增值税	1515.83	增值税率 17%, 根据高安屯增税税和上网电量比例进行折算
	企业所得税	1419.89	以垃圾处理费、售电收入为主要收入项目; 固定资产折旧 214139 万元、运营成本为支出 20173 万元, 税率 25%
健康损失	致癌健康损失	—	由于存在风险叠加, 三焚烧厂合并计算
计算结果	年社会成本	31905.98	
	单位垃圾社会成本 (元)	305.22	

#### 4.2.5 成本比例分析

各项社会成本之间的比例如图 4-2, 垃圾处理费占比 57%, 为焚烧厂最主要的收入来源, 这也预示着推进生活垃圾分类减量将大幅降低社会成本。电价补贴为 19%, 是焚烧厂收入的重要来源。建设补贴占 11%, 土地补贴 2%, 是政府在固定资本上对焚烧厂的投入, 也是社会成本的重要组成方面。税收减免占 12%, 是一项可观的鼓励和优惠政策。

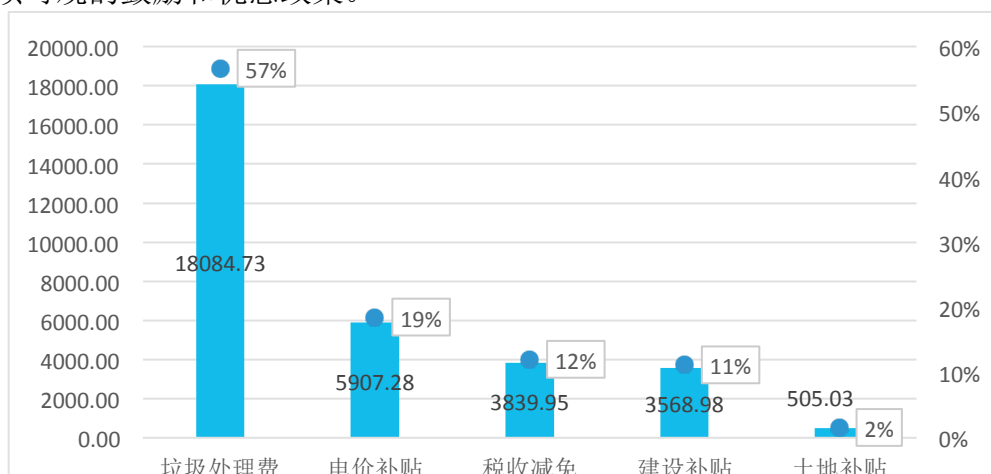


图 4-2 鲁家山生活垃圾焚烧发电厂（一期）成本比例

### 4.3 顺义区生活垃圾综合处理厂（焚烧一期）

顺义区生活垃圾综合处理厂位于北京市顺义区杨镇辛庄村南偏东 0.7km 处，属于北京市顺义区市政市容管理委员会下属的事业单位，注册资料<sup>[62]</sup>显示，该厂为非财政补助单位，工程总投资为 10026.76 万元，由代政府经营城市的主体——鑫浩投资中心进行投资，鑫浩投资中心性质为全民所有制企业，其资产主要来源为顺义区政府划拨，且综合处理厂未引入其他投资者，因而将顺义区生活垃圾综合处理厂的建设投资视为社会成本。

顺义区生活垃圾综合处理厂于 1998 年 7 月建设运行，承担着顺义城区及所有乡镇地区的生活垃圾无害化处理任务，采取以焚烧为主，堆肥、填埋相结合的综合处理工艺。生活垃圾焚烧前经过分选处置，筛中物进行堆肥，筛上物利用生物干燥方法降低水份，入炉焚烧；二是将垃圾筛分后渣土和焚烧后残渣进行填埋。<sup>[63]</sup>根据工程设计，该综合处理厂生活垃圾处理规模 600t/d，经预处理后焚烧垃圾量 274t/d，填埋量 170t/d，生产腐殖质改良土 60t/d，废品回收 20t/d，其余为水分蒸发损失<sup>[64]</sup>。目前一期工程仍在运行，二期工程正在建设，预计 2017 年 6 月完工。目前仅计算综合处理厂焚烧处理部分的社会成本。

数据来源主要是环境影响报告书、竣工验收及检测报告、权威网站数据、期刊论文、申请的信息公开等。

#### 4.3.1 固定成本

##### (1) 土地成本

顺义区生活垃圾综合处理厂土地为划拨取得，宗地面积 63592 平方米，根据设计焚烧量占总入厂量比率 45.67%<sup>21</sup>计算，焚烧项目占地面积为 43.56 亩。该区域 2015 年基准地价 1233 元/m<sup>2</sup>，为 82.2 万元/亩，按照工业用地 50 年使用权计

21 设计焚烧量 274t/日，设计入厂量 600t/日，比率为 45.67%。

算，年土地成本为 227.19 万元。

## (2) 建设成本

顺义区生活垃圾综合处理厂（焚烧一期）总投资 10026.76 万元<sup>[64]</sup>，根据设计焚烧量占总入厂量比例 45.67%进行折算，以焚烧项目 30 年的使用寿命折旧，年度建设成本为 152.64 万元。

## 4.3.2 可变成本

### (1) 垃圾处理费

生活垃圾处理费收取费用、支出总额由区财政部门核定，不足部分由区镇两级财政予以补贴<sup>22</sup>。根据顺义区财政局提供的信息公开数据，2015 年顺义区生活垃圾处理厂运行经费财政拨款 4914.2 万元，为按照每天 900 吨标准拨付，每吨生活垃圾处理费为 150 元标准，年度焚烧 10 万吨，计算为 1500.15 万元。

### (2) 电价补贴

一期项目采用 SLC-100 型机械炉排型生活垃圾焚烧炉，由上料系统、进料系统、炉膛、炉排及运行机构，空气热交换器、破碎出渣机构、鼓引风系统、助燃装置、自动空槽内置系统、余热利用装置及烟气处理系统等组成。<sup>[64]</sup>余热利用系统用于厂区供热，未实现发电上网。

### (3) 渗沥液补贴

按照发酵量 465t/d 计算，渗沥液产生量为 28t/天。每吨生活垃圾产生渗沥液 0.06t<sup>[64]</sup>。通过污水管网收集后，进入卫生填埋场垃圾渗沥液处理区处理。年焚烧 10 万 t 生活垃圾的渗沥液产生量为 0.6 万 t，渗沥液处理的市场价为 124.2 元/t<sup>[65]</sup>。渗沥液处理成本为 74.795 万元。

### (4) 底灰处理补贴

274t 生活垃圾焚烧量，将产生 55t 底灰<sup>[64]</sup>。每吨生活垃圾产生底灰 0.201t，按照 2015 年生活垃圾焚烧量 10 万 t 计算，2014 年底灰产生量为 2 万 t。按照 2015 年填埋成本 456.16 元/t 计算，底灰处理补贴为 915.74 万元。

---

22 顺义区人民政府关于印发顺义区垃圾管理暂行办法的通知（顺政发〔2007〕27 号）。



#### (5) 飞灰处理补贴

274t 生活垃圾焚烧量，将产生 0.72t 飞灰<sup>[66]</sup>。每吨生活垃圾飞灰产生量为 0.00263t。按照 2015 年生活垃圾焚烧量 10 万 t 计算，2015 年底飞灰产生量为 0.0263 万 t。这些飞灰全部回收，密闭贮存，累计到一定数量后集中送至北京红树林环保技术工程有限责任公司最终处置<sup>[66]</sup>，费用由焚烧厂承担。假设飞灰处理公司未获得额外政府补贴，且飞灰全部无害化处置。

#### (6) 其他补贴

2015 年获得 10.3 万元清洁生产补贴<sup>23</sup>。

### 4.3.3 税收减免

作为收入来源由财政部门核定，不足部分由财政补贴的事业单位，生活垃圾综合厂处理厂为非盈利经营，其收入不征税<sup>24</sup>。“十三五”规划提出，创新公共服务提供方式，推行特许经营，推动从事生产经营活动事业单位转制为企业的政策背景下。为了与其他企业经营的焚烧厂比较，核算其是企业时的减免税额。

#### (1) 营业税

按照 5% 的营业税税率计算，2015 垃圾处理服务费免除的营业税税额为 75 万元。

#### (2) 增值税

电力、燃料的增值税税率为 17%，水的增值税税率为 13%。一期未实现焚烧发电，不考虑增值税。

#### (3) 企业所得税

运营超过“三免三减半”时间，以垃圾处理费为主要收入的项目，以每吨生活垃圾综合处理成本 65 元/t 为成本<sup>[67]</sup>，按 6% 折算到 2015 年为 109.82 元/t，可得企业所得税减免为 100.47 万元。

---

23 北京市发改委：2015 年第六批通过清洁生产审核评估的单位名单及审核补助资金明细表，<http://www.bjpc.gov.cn/zwxx/tztg/201512/P020151231340142108054.pdf>。

24 顺义区生活垃圾综合处理厂回复。

#### 4.3.4 核算结果

根据社会成本核算方法,在2015年,计算出顺义区生活垃圾综合处理厂(焚烧一期)一年焚烧10万t生活垃圾的补贴项目约为3056.29万元,每吨生活垃圾焚烧的补贴项目为305.6元,较填埋成本456.16元/t,节省了33%。核算结果如表4-3所示。

表 4-3 顺义区生活垃圾综合处理厂(焚烧一期)社会成本(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	227.190	厂区20.5公顷,焚烧量占比45.67%,焚烧项目土地分摊43.564亩,折现率6%,基准地价82.2万元/亩	
	建设补贴	152.641	总投资10026.76,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) 1500.150	每吨150元处理费,10万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	74.795	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	915.739	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	
税收减免	其他 清洁生产补贴	10.300	2015获得10.3万元	
	营业税	75.008	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	100.470	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,三焚烧厂合并计算	
计算结果	年社会成本	3056.292		
	单位垃圾社会成本(元)	305.599		

### 4.3.5 成本比例分析

如图 4-3 所示，生活垃圾处理费仍然是占比最大的成本项，为 50%；其次是填埋处理补贴，可以看出，生活垃圾即使焚烧，其减量的效果是有限的，底灰处理所占的成本是高额焚烧支出的一半以上，为 31%，未分类的生活垃圾会产生渗沥液，处理成本占 3%；税收减免构成成本的 6%，这一优惠政策会鼓励地方政府或企业建设焚烧厂的行为；建设补贴、土地补贴在年度成本中占比 14%，由于其初始投资大，给地方政府造成财政负担和债务风险。

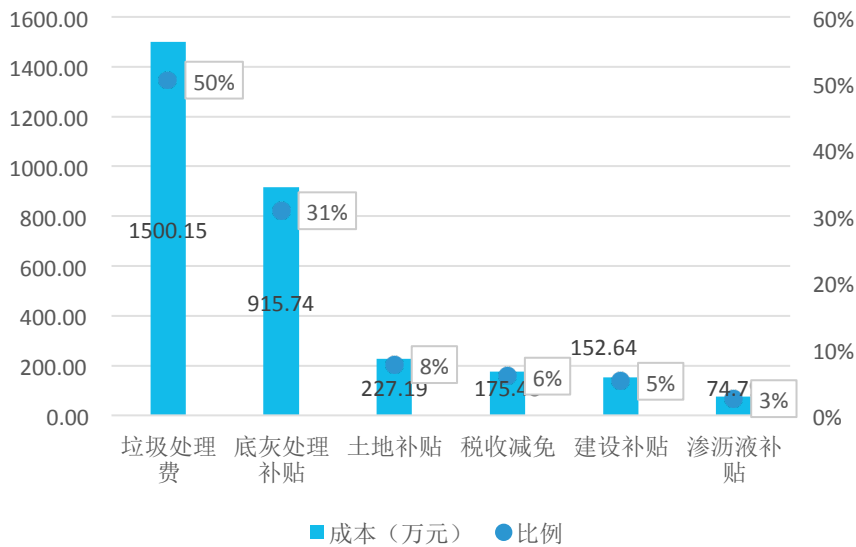


图 4-3 顺义区生活垃圾综合处理厂（焚烧一期）成本比例

## 5 二噁英排放健康损失评估

### 5.1 焚烧厂空气污染物排放的落地点浓度

#### (1) 污染源参数

但为了保守计算，假设飞灰安全处置、烟气连续达标排放，使用环评报告中的设备参数和三个垃圾焚烧处理厂自行监测公开的排放数据进行，如表 2 所示。

表 5-1 三个焚烧厂排放参数

名称	坐标 -通用横轴墨 卡托投影 (m)	烟囱海 拔 (m)	烟囱高 度 (m)	出口烟 气温度 (K)	等效烟 囱内径 (m)	出口烟 气速度 (m/s)	出口烟 气流量 (Nm <sup>3</sup> /s)	大气污染 物排放量 (g/s)	出口处	
									二噁英 类浓度 (ng/m <sup>3</sup> )	二噁英类排 放率 (g/s)
高安屯	x:466902 y:4421873	25	80	423.15	3.46	14.05	132.1047	50.13505	0.047	6.20892E-09

鲁家山	x:417965 y:4411472	223	100	424.15	4.4	12.06	183.376	58.8097	0.043	7.88517E-09
顺义	x:489100.16 y:4442302.48	34	60	433.15	1	17.3	78.2634	18.13614	0.0705	5.51757E-09

## (2) 地形与气象参数

模型采用的地形参数来源于中国科学院计算机网络信息中心，为 30m 分辨率数字高程数据，覆盖北京市整个行政区。地面气象参数来源于美国国家海洋和大气局公布的北京首都国际机场气象站（40.08E，116.58N），2015 年 1 月 1 日 0 时至 2015 年 12 月 31 日 24 时的逐小时气象数据，包括温度、相对湿度、风向、风速、云量、气压。气象站所在地 2015 年主导风向为西北，全年平均风速为 2.6m/s，静风频率（风速小于 0.5m/s）为 1.7%。所需的高空气象数据由 AERMOD 高空气象数据模拟生成。

## (3) AERMOD 模型预测落地点浓度

使用直角坐标系点代表受体坐标，以坐标(x: 359631.9m, y: 4365354.228m)为原点，3840m 为点间距离，形成 50\*50 个点的受体网络。每个点的落地点浓度代表以该点为中心的 1475 万 m<sup>2</sup> 区域的落地点浓度。AERMOD 模型预测结果如图 2、图 3 所示。

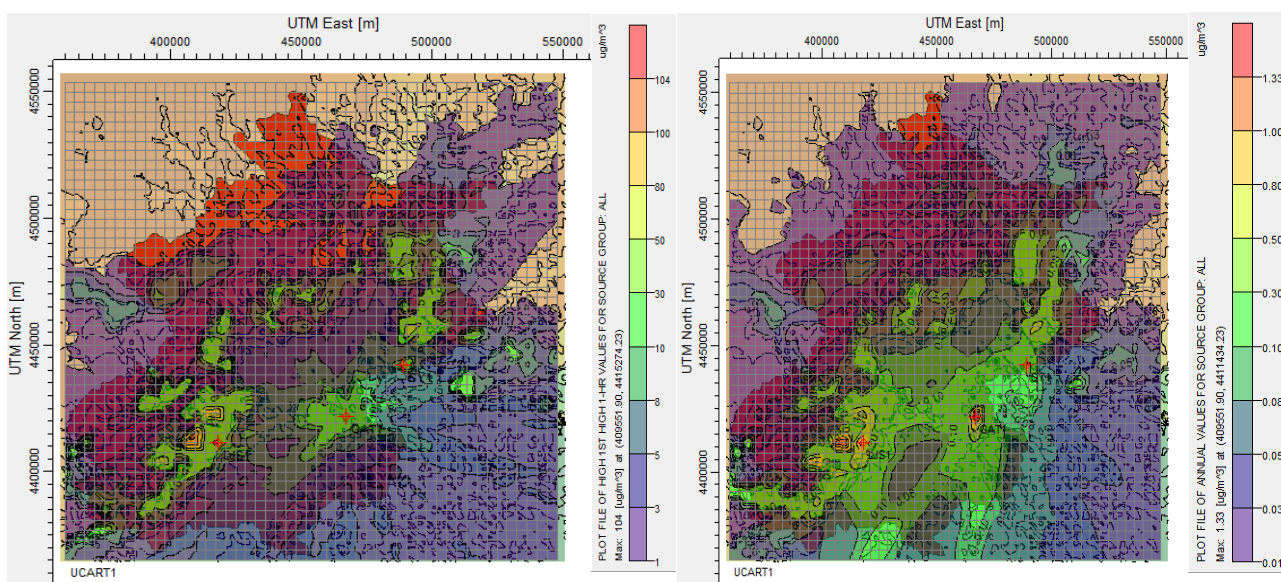


图 5-2 污染物最大一小时落地点浓度

图 5-1 污染物年均落地点浓度

从图中可以看出，三个垃圾焚烧厂的空气污染物排放影响基本覆盖北京全市，

受主导风向影响,对北京的西南部地区影响更大。同时,焚烧厂以北的一些地区,由于受到地形影响,在迎风坡处形成较高浓度区域。如表 3 所示,受地形影响,最大一小时落地点浓度位于鲁家山焚烧厂以西方向 8.4km 处山谷。

表 5-2 大气污染物最大落地点浓度位置

	焚烧厂	坐标	浓度值 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
最高的一小时落地点浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	鲁家山向西方向	x: 409551.90	104
	8.4km	y: 4415274.23	
最大年均落地点浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	鲁家山向西方向	x: 409551.90	1.33
	8.4km	y: 4411434.23	

## 5.2 ADMRT 预测二噁英落地点浓度

将 AERMOD 输出的大气污染物落地点浓度文件导入 ADMRT 计算二噁英落地点浓度,其中:(1)年排放量  $1.25\text{e-}3$  (lbs/yr),用各焚烧厂二噁英排放率与年排放 8000 小时计算加和得到。(2)最大一小时排放量  $1.55649\text{e-}7$  (lbs/hr),用焚烧厂二噁英排放量计算 1 小时排放量之和得到;(3)仅考虑新增二噁英排放,背景浓度取  $0$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。预测的二噁英落地点浓度如图 5-3、5-4 所示。是分析范围内 2500 个落地点的浓度值,与 AERMOD 预测的污染物落地点浓度有较高的相关性,预测的最大落地点位置相同。最大一小时落地点浓度  $2.0351870\text{e-}06$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),年均最大落地点浓度  $2.3844540\text{e-}08$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。

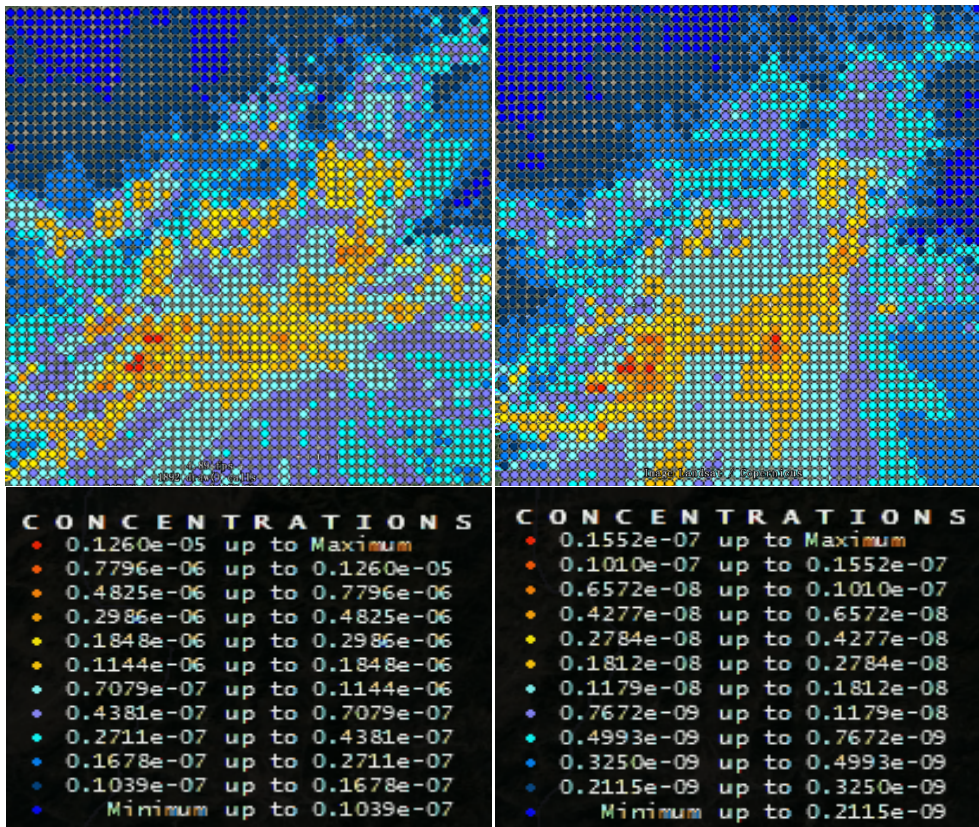


图 5-4 二噁英最大一小时落地点浓度

图 5-3 二噁英年均落地点浓度

### 5.3 不同落地点浓度的终身致癌风险

暴露途径是指受体与污染物接触的途径，ADMRT 列出了人体对污染物的不同暴露途径。二噁英属于持久性有机物，在空气中光化学分解的半衰期 8.3 天，土壤中半衰期 12 年，人体中 7-11 年。因此二噁英不仅通过空气进入人体，也通过沉降进入土壤、水体后，为人体接触后进入人体，或通过动物食入、植物从空气吸收后再由食物链进入人体。本研究计算广义人群（population-wide）对二噁英暴露的 70 年的致癌风险，采用加州环境健康危害评价办公室（OEHHA）推荐的方法，选择的暴露途径及参数如表 5-3 所示。

表 5-3 二噁英暴露途径及参数选择

暴露途径	参数	参数选择	选择依据	
呼吸	呼吸率 (L/kg-day)	225-658	人口 65 分位数	
	在居住地的时间比例	0.72-0.85	ADMRT 默认值	
泥土摄入	摄入率 (mg/kg-day)	3-40	人口 95 分位数	
皮肤暴露	皮肤吸收率 (mg/kg-yr)	1100-6600	人口 65 分位数	
	气候条件	mixed	未选寒冷和温暖	
母乳	摄入率 (g/kg-day)	139	人口 95 分位数	
	受污染水源落地点浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	9.96E-10	平均落地点浓度	
	受污染的水源面积 ( $\text{m}^2$ )	1.88E+08	密云水库	
	受污染的水源体积 (kg)	1.03E+12	2014 年密云水库末蓄水量	
饮水 (含人、牛、猪、鸡)	年水体交换量 (kg)	3.16E+11	2014 年密云水库可用水量	
	污染水体消费比例	0.6	2014 供水量中地表水占地表水与地下水之和的比例	
食物	摄入率 (ml/kg-day)	18-113	人口 65 分位数	
	受污染鱼类落地点浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	9.96E-10	平均落地点浓度	
鱼	鱼类所在水体表面积 ( $\text{m}^2$ )	4.26E+08	密云水库、官厅水库	
	鱼中浓度	鱼类所在水体水量 (kg)	1.36E+12	2014 年密云水库、官厅水库年末蓄水量
	年水体交换量 (kg)	4.34E+11	2014 密云水库、官厅水库可用水量	
	人类暴露	污染鱼类消费比例	0.14	北京水产品产量与外埠流入与本地产量之比

		摄入量 (g/kg-day)	0.18-0.38	人口 65 分位数, 根据中国膳食结构 <sup>[68]</sup> 调整
植物	植物中浓度	受污染植物落地点浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	9.96E-10	平均落地点浓度
	人类暴露	受污染饮食占比	0.137	普通家庭 (非农场)
		摄入量 (g/kg-day)	0.9-3.5	人口 65 分位数, 根据中国膳食结构调整
牛肉和牛奶	牛肉和牛奶中浓度	肉牛、奶牛受污染牧草占比	0.5	ADMRT 默认值
		受污染饮食占比 (牛肉)	0.485	普通家庭 (非农场)
	人类暴露	牛肉摄入量 (g/kg-day)	1.7-3.5	人口 65 分位数, 根据中国膳食结构调整
		受污染饮食占比 (牛奶)	0.207	普通家庭 (非农场)
	牛奶摄入量 (g/kg-day)	5.4-50.9	人口 65 分位数, 根据中国膳食结构调整	
猪肉、鸡肉、鸡蛋	猪肉、鸡肉和鸡蛋中浓度	猪受污染饮食占比	0.1	ADMRT 默认值
		肉鸡受污染饲料占比	0.05	ADMRT 默认值
		蛋鸡受污染饮食占比	0.05	ADMRT 默认值
	人类暴露	受污染饮食占比 (猪肉)	0.25	普通家庭 (非农场)
		猪肉摄入量 (g/kg-day)	1.5-4.5	人口 65 分位数, 根据中国膳食结构调整
		受污染饮食占比 (鸡肉)	0.25	普通家庭 (非农场)
		鸡肉摄入量 (g/kg-day)	0.9-2.9	人口 65 分位数, 根据中国膳食结构调整
		受污染饮食占比 (鸡蛋)	0.25	普通家庭 (非农场)
	鸡蛋摄入量 (g/kg-day)	1.3-3.9	人口 65 分位数, 根据中国膳食结构调整	
其他参数	沉降率 (m/s)	0.05	ADMRT 默认值	

以北京市行政区划为界限, 删除行政区划以外的受体坐标后, 剩余 1125 个坐标, 70 年总致癌风险均值为  $1.1\text{e-}5$ , 各点风险均大于  $10\text{e-}6$ , 其中 5 个点风险大于  $10\text{e-}4$ 。分途径致癌风险统计如图 5-5。可以发现, 从各点均值情况看, 对总致癌风险贡献最大的为母乳, 其次为泥土摄入、农作物、牛肉, 占比分别为 60%、30.7%、4.5%、2.1%。可见人的婴儿时期, 由于主要食品是母乳, 是二噁英排放的敏感人群。人的儿童时期也会因为泥土摄入而面临较高风险。根据中国居民膳食结构<sup>[68]</sup>, 农作物占日常饮食的 81%, 因此农作物的影响较大。牛肉虽然只占日常饮食的 0.94%, 但相对于猪、鸡来说, 牛生产同样多的肉必须摄入更多的农作物, 其肉质所含二噁英更高。因此, 随着我国居民肉类饮食比例的增加, 致癌风险将呈现上升趋势。



图 5-5 各种暴露途径下致癌风险统计

## 5.4 每年可能的致癌人数

2015 年北京市常住人口 2170.5 万人，人口密度为 1323 人/平方公里，位居全国省级行政区第三位。如人口平均分布，1125 个坐标点的致癌风险分别代表其所在 14.57km<sup>2</sup> 网格的风险，则每个网格的人数为 1.9293 万人。每个网格的风险与人口相乘为该网格可能致癌人数，各网格可能致癌人数之和即北京市致癌人数之和，为 241 人/年。

## 5.5 年度健康损失

2015 年，北京市人均收入为 40644 元，将收入参数带入“工资风险模型”中可得北京市个体生命价值的估计为 589.3 万元<sup>[69]</sup>，癌症次均住院费用为 41314.48 元（治疗费+非治疗费）<sup>[70]</sup>，按 6%的折现率折算到 2015 年为 46420.95 元。如以人均住院 1 次计算，241 人健康成本为 14.3 亿元。

虽然健康损失核算在污染源、排放、扩散、暴露等估计都存在不确定性，但依然是成本较低、解释性强的衡量方法。因为，污染物监测方法的成本更高，且难以监测到低于一定限值的污染物，而流行病学统计方法无法解释污染物排放与发病率的关系。本研究已通过保守估计选择参数避免造成对健康损失的过高估计。



## 5.6 健康损失评估讨论

### 5.6.1 二噁英致癌风险仅是垃圾焚烧造成健康风险的一部分

本研究评估的健康风险仅为二噁英的致癌风险，焚烧厂排放的其他危险空气污染物，包括铅、汞等未进行评估。因此本研究评估的仅是一部分健康风险。

表 5-4 未评估风险

评估	评估污染物	致病风险			致癌风险	数据来源
		急性 (Acute)	8 小时 (8-Hour Chronic)	慢性 (Chronic)		
评估	二噁英				√	浓度数据：焚烧厂公布 排放参数： 焚烧厂环评报告
	Pb				√	
	Hg	√	√	√		
未评估	Cd			√	√	
	HCl	√		√		
	SO <sub>2</sub>	√				

### 5.6.2 我国缺乏危险空气污染物的风险管理

我国《大气污染防治法》(2015) 中新增第七十八条，要求行政部门公布有毒有害大气污染物名录，实施风险管理，排放企事业单位应定期检测，评估风险、防范风险。但目前“有毒有害大气污染物名录”仍在制定中。行政部门的风险评估与管理的目标、机制仍未明确。《建设项目环境风险评价技术导则》开展的对新建源的环境影响评价，局限为对事故风险的评估。

美国的危险空气污染物控制标准以人体健康为落脚点，《空气清洁法案》中要求 EPA 对危险空气污染物的控制，应当确保人群有“充分的安全边际”<sup>[71]</sup>，对有害大气污染物的标准实施后进行对比性的风险评估，包括单一污染物的风险、排放源的风险、周边居民健康风险、急性风险等，同时将根据风险评估的结果调整标准的排放限值<sup>[72]</sup>。美国 EPA 在全国范围内开展了危险空气污染物的风险评估，包括对危险空气污染物致癌风险和非致癌风险的评估。加州对危险空气污染物进行风险评估，计算单个污染物的个体终身致癌风险后发现大于一定概率的，需要进行风险减量。这一概率由各空气质量管理区 (AQMD) 自行设定，一般设定在百万分之一的水平<sup>[71]</sup>。

因此，以人体健康为落脚点，仅有二噁英或其他危险空气污染物的排放标准并不能保证“充分的安全边际”，即使制定严格的排放限值，随着污染源和排放量的增加，居民的健康风险仍会增加，尤其是二噁英等持久性有机污染物。因此，引入美国风险评估的制度是必要的，而严格控制工业过程，以尽可能减少二恶英的形成也是国际共识和政府的责任。

## 6 北京市生活垃圾焚烧社会成本评估

### 6.1 生活垃圾焚烧处置社会成本 20.39 亿元/年

综合三个焚烧厂的补贴项目及健康损失核算，各类成本求和获得年度社会成本，该数值除以焚烧量之和 187.36 万 t 为每吨垃圾焚烧处置社会成本。如表 6-1 所示，北京市生活垃圾焚烧处置的社会成本为 20.39 亿元/年，其中健康损失成本为 14.31 亿元，占全部社会成本的 70.19%，补贴项目成本为 6.08 亿元，占全部社会成本 29.8%。

补贴项目中占比超过一半的为垃圾处理费，为 3.05 亿元，其次为上网电价补贴，主要包括每吨生活垃圾上网电量未超过 280 度的补贴，及超过 280 度的补贴，总体补贴额为 1.16 亿元，占补贴项目的近两成。再次为底灰补贴 7980.52 万元，占补贴项目额度超一成，说明虽然填埋减量了，但底灰仍然占入厂重量的 20%—30%左右，政府以低于市场价的填埋费用提供了额外补贴。除此之外是税收优惠，相比其他投资产业，生活垃圾焚烧产业获得的优惠每年达 5997.31 万元，占补贴项目额度近一成。最后，还有政府通过出资建设、土地划拨承担的成本，这部分成本占补贴额度的 7%左右。

表 6-1 综合三个焚烧厂的成本分析

项目	年度社会成本(万元)	单位社会成本(元)	比例
社会成本合计	203936.69	1088.49	100%
健康损失	143140.04	763.99	70.19%
补贴项目	60796.65	324.50	29.8%
固定成本			
土地补贴	919.87	4.91	1.51%
建设补贴	3721.62	19.86	6.12%
垃圾处理费	30507.93	162.83	50.18%
280度以内电价补贴	11159.67	59.56	18.36%
280度以外电价补贴	412.24	2.20	0.68%
可变成本			
沼气发电	0.00	0.00	0.00%
渗沥液补贴	74.79	0.40	0.12%
底灰补贴	7980.52	42.60	13.13%
飞灰补贴	0.00	0.00	0.00%
其他	22.70	0.12	0.04%
税收减免	5997.31	32.01	9.86%

## 6.2 生活垃圾焚烧处置社会成本 1089 元/t，全过程管理成本 2253 元/t

从单位生活垃圾焚烧社会成本来看，如图 6-1 所示，每吨生活垃圾焚烧社会成本为 1088.49 元，其中 763.99 元为健康损失，324.5 元为焚烧的补贴。包括 163 元的支付给焚烧厂的处理费、59.56 元的额外支出的电价、42.6 元的底灰补贴、32 的税收优惠、20 元的建设费用、4.9 元的土地费用，0.4 元的渗沥液处理补贴。

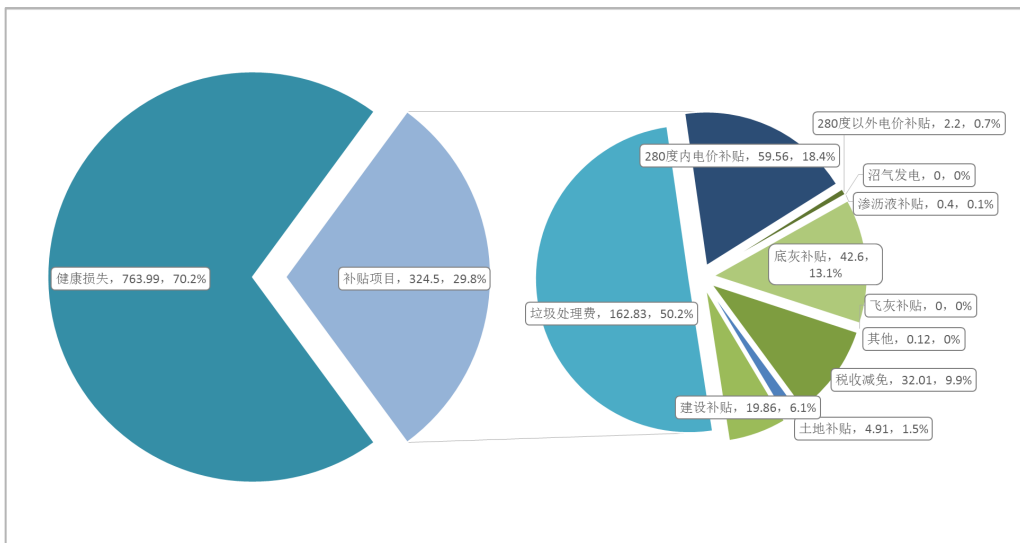


图 6-1 北京生活垃圾单位焚烧成本比例分析

除了焚烧这一末端处置环节的成本外，生活垃圾的管理成本还应包含收集、运输、转运环节的成本，根据市场价计算，这一成本在 2012 年为 1109 元/t<sup>[15]</sup>，按 6%的折现率折算到 2015 年为 1164.46 元/t<sup>25</sup>。增加收集运输成本后，生活垃圾管理“收集-运输-转运-焚烧-填埋”全过程社会成本 2252.95 元/t。2012 年填埋处置社会成本为 1530.7 元/t<sup>[15]</sup>，按 6%的实际利率折算到 2015 年为 1620.62 元/t<sup>26</sup>。在考虑健康损失的情况下，焚烧的社会成本比填埋增加 39%。

2014 年 1 月 1 日，经过调整，北京市非居民生活垃圾处理费 300 元/t（含收集、运输、处理），餐厨垃圾处理费 100 元/t（含收集、运输、处理）<sup>[73]</sup>。居民生活垃圾处理费仍然保持为 3 元/户·月、2 元/人·月<sup>27</sup>，相当于 40-80 元/t，

25 收集与转运，各项分开折算。

26 收集与转运，各项分开折算。

27 北京人民政府办公厅关于转发市环卫局等部门制定的北京征收城市生活垃圾处理费实施办法（试行）的通知[京政办发[1999] 68 号。

如表 6-2 所示。40 元/t—300 元/t 处理费远低于 2252.95 元/t 的生活垃圾焚烧全成本。不符合污染者付费原则，生活垃圾产生者缺乏分类减量的经济激励。

表 6-2 北京市生活垃圾处理费收费标准

类别	生活垃圾	备注
非居民	300 元/t	餐厨垃圾 100 元/t
居民	3 元/月·户	户均 2.49 人 <sup>28</sup> ，清运量 0.93kg/人·日 <sup>29</sup> ，每月每户 69.47kg，每 kg 生活垃圾处理费为 0.043 元，每吨生活垃圾处理费为 43.18 元。
	2 元/人·月	清运量 0.93kg/人，每人每月 27.9kg，每千克生活垃圾处理费为 0.072 元，每吨生活垃圾处理费为 71.68 元。

### 6.3 直接焚烧处理费虽低，但社会成本却是高昂的

即使不考虑垃圾焚烧造成的健康损失，城市政府应按照 324.5 元/t 的全成本收取焚烧处置费。然而，这些费用被以电价补贴、底灰填埋优惠、税收减免、建设补贴、土地划拨等方式隐蔽了，尤其是电价补贴，被电网分摊给用户。北京市政府表面上支付 150 元/t—173 元/t 的垃圾焚烧处理费，但实际上，高昂的成本通过各种补贴以及二噁英等危险空气污染物的健康损失等分摊。用焚烧处理费作为政府决策选择焚烧的依据，转移了政府垃圾分类减量的责任，且误导了公众。

高额成本被其他公共财政补贴承担，或转换成电价的方式由公众承担，更严重的是，转换成致癌健康损失由公众承担。近年来，在垃圾焚烧项目确定社会投资人的竞价中，垃圾处理费中标价持续走低，售电收入、健康损失等分担了城市政府应负担的垃圾处理费，使政府形成了对低价焚烧的过度依赖，需要予以纠正。

### 6.4 焚烧电价补贴是错误的政策，是引发问题的关键一环

在没有电价补贴的情况下，如果入厂的是高热值垃圾，由于其辅助燃料需求少、渗沥液处理量少、发电量高，其处理成本低，售电收入高，焚烧厂有动机提出入厂垃圾的特性标准，即提出降低含水率，提高热值的诉求。

而在有电价补贴的情况下，280kW·h 为 0.258 元的电价补贴以垃圾入厂重量计算，如果渗沥液处理的成本低于企业内部承担的垃圾焚烧成本，含水率高的垃圾就不仅能带来超过普通垃圾的处理收益，还能带来额外电价补贴份额。

28 抽样调查，北京家庭户人口数 15503 人，家庭户户数 6220 户，户均 2.49 人，《中国统计年鉴 2015》。

29 2014 年北京生活垃圾清运量 733.8 万 t，2014 年北京常住人口 2152 万人，人均生活垃圾清运量 0.9342kg，数据来源：中国统计年鉴。

北京渗沥液处理的市场价为 124 元/t<sup>30</sup>,高安屯渗沥液处置单价为 70.95 元/t<sup>31</sup>,低于北京市生活垃圾焚烧处理市场价 150 元/t-173 元/t,渗沥液处理成本更低,含水率高的垃圾可以带来额外收益及发电补贴份额。

同时,由于各类补贴和电价补贴覆盖了辅助燃料发电的固定成本和可变成本,通过辅助燃料超额发电还能额外获得高于燃煤电厂的利润。单位垃圾发电量和垃圾热值呈正比关系,通过以下方式能初步识别辅助燃料的发电情况:

由于  $1W \cdot S=1J$

所以  $1kW \cdot h=1000W \times 3600s=3.6 \times 10^6 J=3.6MJ$

所以  $1kJ=1/3600 kW \cdot h$

吨垃圾热值估算上网电量 ( $kW \cdot h$ )

$$= \text{垃圾入炉热值 (kJ/kg)} \times \frac{1}{3600} (kW \cdot h/kJ) \times \text{发电厂热效率(\%)} \times \text{垃圾入炉量 (t)} \times 1000 (kg) \times (1 - \text{厂自用电比率 (\%)})$$

其中:

$$\text{垃圾入炉量 (t)} = \text{垃圾入厂量 (t)} \times (1 - \text{渗沥液比例 (\%)})$$

目前,4MPa/400℃中温中压锅炉发电厂热效率<sup>32</sup>在 22%-25%之间<sup>[74]33</sup>,主流垃圾焚烧厂均采用此标准锅炉,包括高安屯和鲁家山,热效率取范围均值为 23.5%。

如表 6-3 所示,高安屯处理的生活垃圾入炉热值 1632.58kcal/kg<sup>34</sup>,渗沥液产生量占入场垃圾量的 23.5%<sup>35</sup>,厂自用电比率 13%<sup>36</sup>。用热值估算上网电量为 277.72kW·h。实际吨垃圾上网电量 298.27kW·h 高于理论上网电量 20.55kW·h,这部分电力可能由辅助燃料提供。

表 6-3 焚烧厂热值估算电量与实际电量比较

	高安屯	鲁家山
垃圾入厂量 (万 t)	72.82	104.54

30 据六里屯垃圾场和方中公司签订的合同显示,每吨渗沥液的处理费为 124.2 元,  
<http://www.chinanews.com/sh/2015/04-13/7203577.shtml>。

31 渗沥液处置费单价为 70.95 元/吨,

<http://www.bjchy.gov.cn/affair/zfxxgkdt/8a24f09a24ecf40801252e3b1bee0153.html>。

32 热效率是指一个能源转换系统所输出可利用的能量相对其输入能量的比值。

33 常规火电厂为 47%。

34 朝阳循环经济产业园公开数据 2015 年入炉热值均值。

35 朝阳循环经济产业园公开数据 2015 年渗沥液产生量与生活垃圾入厂量比值。

36 自用电率 2010 年为 14.6%,2011 年为 13.7%,2013 年为 11.9%,2014 年为 11.8%,均值为 13%,数据来源:电力工业统计资料汇编(2010-2014)。

单位垃圾用辅助燃料量(吨)	0.09	0.00029
发电量 (万 kw·h)	24965.82	29400.00
上网电量 (万 kw·h)	21720.27	22932.00
入炉热值 (kcal/kg)	1623.58	1649.85
辅助燃料热量 (kcal/kg)	7000.00	10200.00
发电厂热效率 (%)	23.5%	23.5%
渗沥液比例 (%)	23.6%	30.0%
辅助燃料发电量 (kw·h)	41.47	0.20
热值估计 热值估算发电量 (kw·h)	338.68	315.43
热值估计 热值估算上网电量 (kw·h)	277.72	246.03
实际 吨垃圾发电量 (kw·h/t)	342.84	281.24
上网	298.27	219.37
数据来源	发电量：产业园公布的周数据之和，减多余 5 天 上网电量：历史比率平均值，按自用率 13% 计算 垃圾量：产业园公布周数据之和，减多余 5 天 发电厂热效率：文献 4MPa/400℃，22%—25%，取均值 入炉热值：产业园公布周数据均值 发电量：公开报道数据 上网电量：竣工验收报告，自用率 发电厂热效率：文献 4MPa/400℃，22%—25%，取均值 垃圾量：新闻报道，增加未纳入核算的 5 天 入炉热值：工程师表示 1500kcal/kg 以上，设计热值 1799.71kcal/kg，二者平均值 1649.85cal/kg	

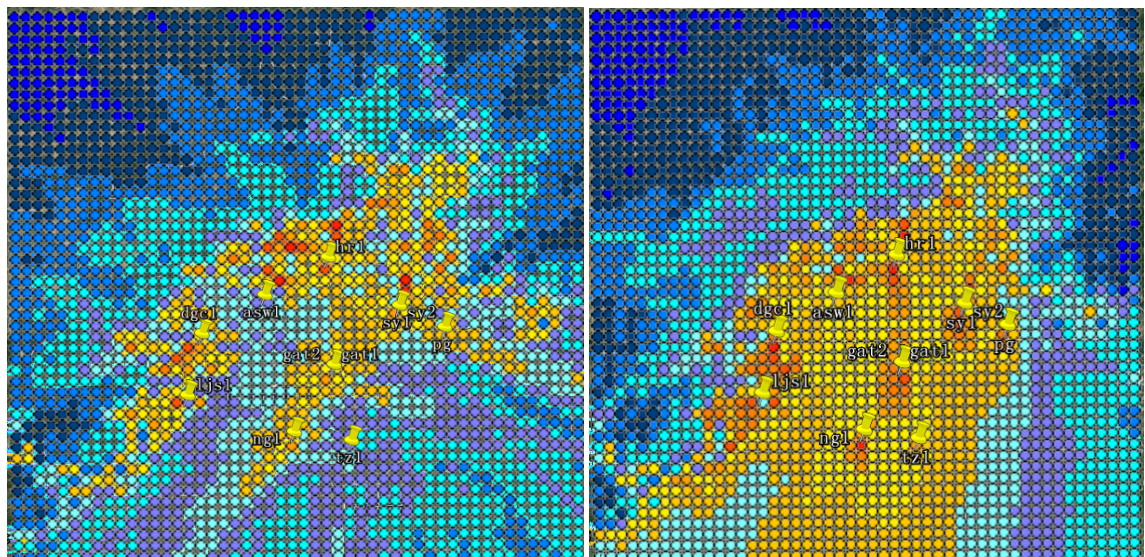
实际上，辅助燃料或高热值垃圾发电盈利在其他地区更为普遍。280kW·h 以内的高额售电收入实现了快速回本和盈利，焚烧厂可以通过焚烧高热值垃圾（工业垃圾）追求额外收入。一些焚烧企业已抛开垃圾处理费，将电价补贴作为主要收入来源，以几十元中标焚烧处理。

因此，焚烧电价补贴是错误的政策：第一，降低了焚烧厂对降低含水率、提高垃圾热值的诉求，帮助维持了垃圾不分类的现状；第二，刺激焚烧厂以辅助燃料或其他高热值垃圾发电盈利，成为新的污染源；第三，转移了地方政府承担的处理成本，减轻了其实施分类减量的压力。总之，“高价收电”的补贴政策无益

于垃圾分类减量，增加了焚烧量和污染排放量，是导致众多问题和高昂社会成本的关键一环。

## 6.5 十一座焚烧厂生活垃圾管理全过程社会成本将达 373.2 亿元

根据《北京市生活垃圾处理设施建设三年实施方案(2013-2015年)》及公开报道的建设进度，至2018年，另外八座焚烧厂将正常运行，年焚烧量达597.2万吨。假设8个焚烧厂都能达到国家关于二噁英的排放标准即 $0.1\text{ng-TEQ}/\text{Nm}^3$ ，北京市十一座垃圾焚烧厂的二噁英落地点浓度如图6-2、6-3所示。全市70年二噁英致癌风险均超过百万分之一。



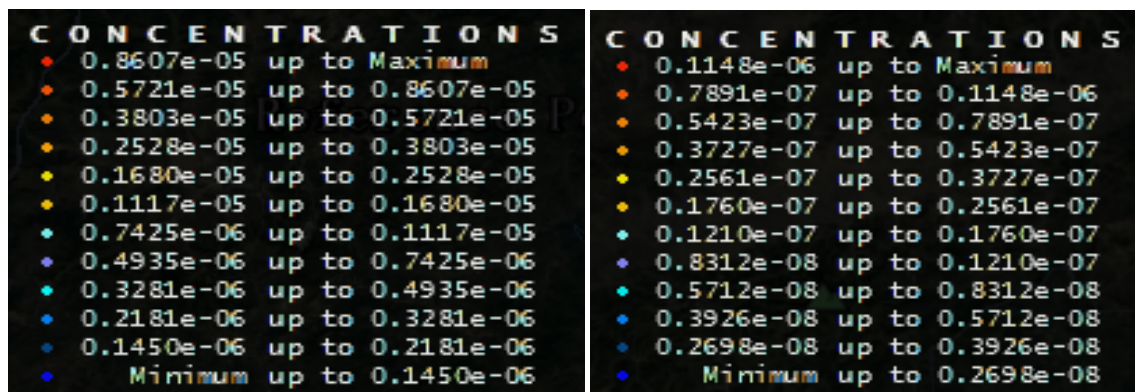


图 6-3 二噁英最大一小时落地点浓度

图 6-2 二噁英年均落地点浓度

使用二噁英健康损失估计方法，按照北京市 2018 年人口控制在 2300 万人计算，每年北京市由于焚烧垃圾致癌的人数约为 3779 人，2015 年人均健康损失 608.11 万元折算至 2018 年底为 707.39 万元，社会健康损失将达 267.3 亿元，即每吨垃圾 4476 元。十一座焚烧厂生活垃圾管理全过程社会成本将达 373.2 亿元，6250 元/t，预测相当于 2018 年北京市 GDP 的 1.33%。

## 7 生活垃圾分类减量后社会成本估计

由于北京市目前的生活垃圾未经分类，运往焚烧厂的垃圾为转运站经过简单筛分的垃圾。这类垃圾的特点是：（1）产生量大，且快速增长；（2）含有较高比例的厨余，约为 45%–55%<sup>[75]</sup>；（3）含水量大、发热量低<sup>[75]</sup>；（4）资源回收率低，堆肥质量差。通过垃圾分类减量，社会成本会降低。对社会成本的影响从以下几个方面评估，如表 7-1 所示。

表 7-1 分类减量对社会成本的影响

评估角度	评估方法
现有焚烧厂服务人口增加	当北京市人均生活垃圾日清运量降低至台北市水平，评估现有焚烧厂所能服务的人口
单位生活垃圾焚烧成本降低	垃圾分类减量后，焚烧厂服务范围扩大，入厂垃圾重量不变，但入厂垃圾成分改变（厨余比例、含水率降低，热值提高），评估单位垃圾焚烧成本变化
生活垃圾管理全过程社会成本	垃圾分类减量化，入厂垃圾及收运垃圾同比例降低，垃圾成分变化，资源回收的情况下，评估生活垃圾管理全过程社会成本



## 7.1 焚烧厂服务人口增加，2/3 焚烧厂存在闲置风险

如表 7-2 所示，2015 年，三焚烧厂共焚烧生活垃圾 187.36 万 t<sup>37</sup>，以人均生活垃圾日清运量 0.949kg<sup>38</sup>，按全部焚烧计算，焚烧能力为 540.89 万人的生活垃圾。如果北京市人均生活垃圾日清运量降低至台北市水平 0.287kg<sup>39</sup>，则现有设施的处理能力可以实现 1788.53 万人的生活垃圾全焚烧。

表 7-2 分类前与分类后的服务人口

	分类减量前			分类减量后		
	高安屯	鲁家山	顺义	高安屯	鲁家山	顺义
焚烧量(万 t)	72.82	104.54	10.00	72.82	104.54	10.00
人均日清运量 (kg/人·日)	0.95	0.95	0.95	0.29	0.29	0.29
人均年清运量 (t/人·年)	0.35	0.35	0.35	0.10	0.10	0.10
年服务人口(万人)	210.23	301.79	28.87	695.15	997.91	95.47
年服务人口合计(万人)	540.89			1788.53		

2015 年北京市年末常住人口为 2170.5 万人<sup>40</sup>。即三个焚烧厂的处理能力能够实现全市 82.4%人口生活垃圾全焚烧。如像台北一样实现全市垃圾全部焚烧，仅需再建设一个焚烧能力 1096t/d 的焚烧厂即可。如按照 2020 年北京人口控制目标 2300 万<sup>[76]</sup>计算，2015 年焚烧能力能够实现 77.76%人口的生活垃圾全部焚烧，如要服务全市人口，仅需要再建设一个焚烧能力 1500t/d 的焚烧厂即可。

因此，在垃圾分类减量情况下，11 座焚烧厂中，2/3 将无垃圾可烧，是巨大投资浪费。此时就会走上“抢垃圾”、“烧工业垃圾”的污染之路。

## 7.2 垃圾成分变化，单位垃圾焚烧处置社会成本降低 21%

### 7.2.1 北京市垃圾成分变化估计

由于北京没有定期统一的垃圾特性监测统计报告，且近年来垃圾分类效果有限，本研究使用各焚烧厂环评报告中的取值。高安屯<sup>41</sup>、鲁家山<sup>42</sup>的环评报告使用

37 高安屯 72.82 万吨，朝阳循环经济产业园数据公开，减去 5 天多计算的日均焚烧量；鲁家山 104.536 万吨，公开报道数据，增加 5 天少计算的日均焚烧炉；顺义 10 万吨，按环评报告中的设计焚烧量。

38 2014 年，北京市人均生活垃圾日清运量为 0.934kg，以 2005-2014 年均增长率 1.6%计算，预测 2015 年为 0.949kg，数据来源：城市建设年鉴（2014）。

39 台北市 2015 年人均生活垃圾清运量，数据来源：环境保护统计资料库。

40 数据来源：北京市统计局，[http://www.bjstats.gov.cn/zt/rkjd/sdjd/201603/t20160322\\_340773.html](http://www.bjstats.gov.cn/zt/rkjd/sdjd/201603/t20160322_340773.html)。

41 中材地质工程勘察研究院，北京市朝阳区生活垃圾综合处理厂焚烧中心环境影响报告书，2011，中材地质工程勘察研究院：北京。

42 中材地质工程勘察研究院，北京首钢生物质能源项目环境影响报告书，2010，中材地质工程勘察研究院：北京。

的是 2009 年小武基和马家楼的筛上物成分和特性统计，取均值；顺义<sup>43</sup>使用环评报告中 2009 年 12 月-2010 年 11 月各项指标均值，按照城镇和农村的垃圾处理量进行加权平均。如表 7-3 所示。

表 7-3 三个焚烧厂的垃圾成分与特性（单位：%）

成分	小武基 马家楼 高安屯、鲁家山 顺义				特性	小武基 马家楼 高安屯、鲁家山 顺义			
	厨余	52.90	49.07	50.99		35.33	含水率	60.00	61.57
灰土、砖瓦	1.93	1.84	1.89	8.59	灰	16.82	17.39	17.11	20.93
塑料	20.12	23.27	21.70	27.82	碳	47.90	49.10	48.50	48.83
纸类	15.76	16.00	15.88	14.94	氢	7.05	7.17	7.11	7.34
织物	3.57	5.11	4.34	4.93	氮	1.25	1.06	1.16	0.78
玻璃	0.79	0.37	0.58	2.79	氯	0.62	0.33	0.48	0.49
金属	0.18	0.56	0.37	0.17	硫	0.06	0.05	0.06	0.06
木竹	4.75	3.78	4.27	5.17	氧	26.30	24.90	25.60	21.57
其他	0.00	0.00	0.00	0.08	总计	100.00	100.00	100.00	100.00
					湿基低位热值 (Kcal/kg)	1709.85	1590.58	1650.22	952.40
合计	100.00	100.00	100.00	100.00	湿基高位热值 (Kcal/kg)				1442.97

我国大陆关于分类后生活垃圾特性测定研究较少，李爱民<sup>[77]</sup>的研究表明，垃圾水分含量会随着生物质垃圾分类率的提高而降低，同时热值提高 50%—120%。由于目前国内关于分类垃圾特性测定文献有限，咨询相关专家，垃圾源头分类后，其他垃圾的含水率降低至 5%—10%。为了保守估计取值 10%。源头分类后，由于水分、金属、玻璃的去除，垃圾的热值能达到 1912kcal/kg—2629kcal/kg<sup>[78]</sup>，取平均值为 2270.5kcal/kg。垃圾分类前后特性变化估计如表 7-4 所示。

表 7-4 北京市生活垃圾分类前与分类后特性变化估计

指标	分类前	分类后
垃圾含水率 (%)	城区：60.79 顺义：65.90	10
垃圾湿基低位热值 (kcal/kg)	城区：1650.22 顺义：952.40	2270.5

43 中国科学院环境评价部，北京市顺义区垃圾处理中心综合处理厂环境影响报告书，2005，中国科学院：北京。

## 7.2.2 入厂垃圾成分变化，每吨垃圾焚烧处置社会成本降低 21%

入厂垃圾成分的变化表现为：(1) 厨余量降低致含水率降低；(2) 厨余及塑料比例降低致含氯量降低；(3) 含水率降低至垃圾热值提高。成分变化可能导致的的结果是：(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。这些变化一方面使渗沥液处理补贴降低；另一方面使焚烧厂处理垃圾的内部成本降低。如果通过政府和企业谈判，降低每吨垃圾的处理费，将降低公共财政在垃圾焚烧上的支出。

### (1) 每吨垃圾渗沥液处理成本降低 11-22 元

高安屯的渗沥液、鲁家山的渗沥液通过膜系统处理后，变成生产用水，污泥进入焚烧炉；顺义的渗沥液通过污水管网收集后，进入卫生填埋场垃圾渗沥液处理区处理。在源头分类后，垃圾渗沥液产生量减少，将不用通过专门的过滤程序处理，仅需喷入炉内做温度调节之用，台北三个焚烧厂的渗沥液都喷入炉内进行处理<sup>[79-81]</sup>。焚烧室温度过高时，渗滤液用作降温，温度如下降至 820℃ 以下，随即停止渗沥液喷入。当焚烧炉热机时或燃烧室温度低于 850℃ 时，则启动辅助燃料供应。

垃圾分类后，额外的过滤处置成本将降低为零，如表 7-5 所示，三个焚烧厂处理每吨垃圾的渗沥液社会成本将降低为零，分别降低 11—22 元/t。

表 7-5 三个焚烧厂渗沥液处理成本降低估计

项目	高安屯		鲁家山		顺义		
	量 (t)	成本 (元)	量 (t)	成本 (元)	量 (t)	成本 (元)	
政府补贴	124(顺义)	(0.24)	0.00	(0.30)	0.00	(0.06)	(7.47)
企业内部支出	70.95	(0.24)	(16.76)	(0.30)	(21.29)	(0.06)	(4.27)
合计		(16.76)		(21.29)		(11.74)	

注 1：顺义渗沥液由填埋系统处理，渗沥液处理采用市场价；高安屯和鲁家山渗沥液使用自身系统处理，成本较低，采用高安屯处理的价格

### (2) 每吨垃圾辅助燃料成本降低 24-27 元

相对于源头分类垃圾，北京市未分类的垃圾在焚烧过程中需要消耗更多的热量用于蒸发水分。分类前和分类后蒸发水分所需的热量的差值，可用于计算多消耗的燃料量。将所需额外燃料的量用标煤的价格计算，可以计算多耗费的热量成本。

辅助燃料成本差(元)

$$= \frac{\text{水蒸发耗热(kJ/kg)} \times (\text{含水量}_{\text{分类前}}(\text{kg}) - \text{含水量}_{\text{分类后}}(\text{kg}))}{\text{辅助燃料热量 (kJ/kg)} \times \text{热效率}(\%)}$$

$$\times \text{标煤价格 (元/kg)}$$

其中:

$$\text{水蒸发耗热 (kJ/kg)} = \text{上升至 } 100^{\circ}\text{C} \text{ 热量(kJ/kg)} + \text{水的汽化热 (kJ/kg)}$$

$$= (100^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}) \times 4.2 \text{ kJ/(kg} \cdot ^{\circ}\text{C)} + 2600(\text{kJ/kg}) = 2894(\text{kJ/kg})$$

其中,含水量为入炉含水量,即入厂垃圾去掉渗沥液及蒸发损耗后的含水量。入厂垃圾含水量取高安屯数据,并使用高安屯入厂含水率和转运站含水率的比值计算顺义的含水量。标煤价格为 671.4 元/t,水的汽化热取常数 2260kJ/kg,水初始温度取垃圾储坑温度经验值 30℃<sup>[82]</sup>,蒸发损耗取 5%。热效率取锅炉热效率 80%<sup>[83]</sup>。

如表 7-6 所示,辅助燃料成本可降低 23-27 元。

表 7-6 辅助燃料成本节约估计

	分类后	高安屯	鲁家山	顺义
转运站含水率 (%)	10.00	60.79	60.79	65.90
入厂含水率 (%)	8.93	54.27	54.27	58.83
去掉渗沥液含水率 (%)	8.03	41.45	37.99	41.18
蒸发掉 5% (%)	7.63	39.38	36.09	39.12
水含量 (kg)	76.33	393.77	360.90	391.23
水蒸发耗热 (kJ/kg)	220898.27	1139576.25	1044431.58	1132226.37
水蒸发耗热 (kcal/kg)	52795.95	272365.26	249625.14	270608.60
分类后节约热值 (kcal/kg)		(219569.31)	(196829.18)	(217812.64)
辅助燃料热量 (kcal/kg)		7000.00	7000.00	7000.00
需辅助燃料量 (kg)		(39.21)	(35.15)	(38.90)
辅助燃料价格 (元/kg)		0.67	0.67	0.67
辅助燃料节约 (元)		(26.32)	(23.55)	(26.06)

### (3) 每吨垃圾二噁英健康损失降低 187 元

研究表明,入炉垃圾的特性影响二噁英的排放浓度。一是入炉的二噁英含量、氯元素含量<sup>[23][84, 85]</sup>、金属及金属氧化物<sup>[86]</sup>对排放浓度的直接影响;二是入炉垃圾的热值、含水率通过影响焚烧温度对排放浓度的间接影响<sup>[23]</sup>。但以上要素对二噁英浓度的影响还没有明确的数量关系,只能假设在同样的温度和污染控制措施的

条件下，二噁英浓度随以上因素变化而同方向变化。

以含水率高低做为生活垃圾分类管理水平的主要参数，生活垃圾含水率从60%降低至10%，假设二噁英浓度降低为原来的75%，根据二噁英致癌风险计算，每年致癌人数从241人将降低至182人，每人健康损失为593.9万元，每年健康损失降低3.5亿元。相当于每吨入厂生活垃圾造成的健康损失降低187元。

综合渗沥液处理成本、辅助燃料成本、二噁英健康损失成本的降低，如表7-7所示。每吨生活垃圾焚烧社会成本降低230.82元，降低21%，至857.68元。

表 7-7 单位生活垃圾成本降低

	高安屯	鲁家山	顺义
年处理量 (万 t)	72.82	104.54	10.00
a. 渗沥液成本降低 (元/t)	(16.76)	(21.29)	(11.74)
b. 辅助燃料成本降低 (元/t)	(26.32)	(23.55)	(26.06)
a+b 成本降低 (万元/t)	(3137.50)	(4686.79)	(378.02)
c. 健康损失 (万元)		(35042.58)	
a+b+c 成本降低 (万元)		(43244.89)	
垃圾社会成本降低 (元/t)		(230.82)	

## 7.3 生活垃圾管理全过程社会成本降低 64%

### 7.3.1 焚烧处置成本降低至原来 26.41%

通过将187.36万吨焚烧生活垃圾降低至原来的30.24%<sup>44</sup>，及每吨生活垃圾成分变化带来处理成本降低，可以计算这些垃圾管理的社会成本。假设包括：(1)垃圾减量后，焚烧厂所处理的垃圾量及成本也同比例减少；(2)焚烧厂烟气流量降低至原来的30.24%，同时二噁英浓度降低25%；(3)每吨生活垃圾处理费、渗沥液处理费降低。

焚烧处置成本降低情况如图7-8所示。生活垃圾年焚烧处置社会成本从20.39亿元，降低至12.4亿元，降低至原来的60.8%。按原来服务540.89万人计算，每人每年承担的焚烧处置社会成本从377元，降低至229元。

表 7-8 分类减量后生活垃圾焚烧处置社会成本变化

项目	减量前年度社会成本 (万	减量后年度社会成本 (万	降低至原来比	成本比
	元)	元)	例	例

44 每人每日清运量从0.949kg，降低至0.287kg。

社会成本合计		203936.69	124002.07	60.80%	100.00%
健康损失		143140.04	108097.46	75.52%	87.17%
补贴项目		60796.65	15904.61	26.16%	12.83%
固定成本	土地补贴	919.87	278.19	30.24%	1.75%
	建设补贴	3721.62	1125.51	30.24%	7.08%
	垃圾处理费	30507.93	6768.33	22.19%	42.56%
	280度以内补贴	11159.67	3374.95	30.24%	21.22%
可变成 本	280度以外上网电价补贴	412.24	124.67	30.24%	0.78%
	沼气发电补贴	0.00	0.00		0.00%
	渗沥液补贴	74.79	0.00	0.00%	0.00%
	底灰补贴	7980.52	2413.50	30.24%	15.17%
	飞灰补贴	0.00	0.00		0.00%
	其他	22.70	6.87	30.24%	0.04%
	税收	5997.31	1812.60	30.22%	11.40%

### 7.3.2 每吨生活垃圾回收资源价值 199 元

通过资源回收，各类资源物能够实现经济价值。如表 7-9 所示，如果北京市人均生活垃圾日清运量从 0.949kg 降低至 0.287kg。在回收的 0.662kg 资源物中，假设厨余、纸、塑料、玻璃按照其在原生垃圾中的比例分配回收量，回收物全部实现市场价销售，估计年焚烧的 187.36 万吨的生活垃圾如果进行资源回收能够取得 3.7 亿元的销售收入，每吨生活垃圾可以回收 199 元的资源，如表 7-9 所示。

表 7-9 资源回收销售额

项目	原生垃圾中比例 (%)	回收资源中的比率 (%)	回收量 (t)	单价 (元/t)	吨垃圾回收销售额 (元)	年焚烧 187.36 万吨销售额 (万元)	数据来源
厨余	50.15	56.79	0.38	0.00	0.00	0.00	北京高安屯餐厨废弃物处理厂
纸张	15.88	17.98	0.12	1186.00	141.19	26453.73	中国再生协会《2015 年再生资源信息网年度报告》废纸价格指数 1 月份是 1189 元/t，12 月份为 1183 元/t，取均值
塑料	21.70	24.57	0.16	350.00	56.92	10665.46	中国再生协会《2015 年再生资源信息网年度报告》使用再生 PE 料价格 300-400 元/t，取 350 元/t

玻璃	0.58	0.66	0.00	200.00	0.87	162.93	上海废玻璃回收公司，有机玻璃 7800 元/t，钢化玻璃 300 元/t，玻璃容器 200 元/t，硅锰玻璃 600 元/t，显像管玻璃 200 元/t，取 200 元/t
合计	88.30	100.00	0.66	1736.00	198.99	37282.12	

### 7.3.3 收运成本降低至原来 30.2%

如果北京市人均生活垃圾日清运量从 0.949kg 降低至 0.287kg，如表 7-10 所示，通过减量能够减少收运费用，假设运输费用与运输重量呈正比，利用前期研究成果，即 2012 年收集成本 905.1 元/t，转运成本 204.0 元/t，按贴现率 6% 获得 2015 年成本。可以估计出通过分类减量，年度收运成本将降低至 6.6 亿元，每吨生活垃圾可以降低成本 352.16 元。

表 7-10 其他垃圾收运成本节约

项目	成本单价 (元/t)	降低比率 (%)	吨垃圾成本节约 (元)	年焚烧 187.36 万吨成本节约 (万元)
收集	921.49	30.2%	278.6802	52213.53
收集、转运成本	242.97	30.2%	73.4790	13767.03
合计	1164.46	—	352.1593	65980.56

数据来源：《城市生活垃圾填埋处置社会成本核算方法与应用》，2012 年收集成本 905.1 元/t，转运成本 204.0 元/t，按 6% 折现率折算至 2015 年

### 7.3.4 分类后生活垃圾管理全过程社会成本降低 63.8%

通过焚烧处置成本降低、收运成本降低及资源回收创造的价值，如图 7-2 所示，原每年焚烧 187.36 万吨生活垃圾的全过程社会成本可以降低至 15.27 亿元，原来每吨垃圾全过程社会成本可以降低至 815 元。以原服务人口 540.89 万人计算，人均负担的生活垃圾社会成本可以从 780 元/年降低至 282 元/年。

分类减量的经济效益明显，这些节约的成本可以用于支持生活垃圾分类回收的法律法规建设、政策研究、宣传教育、设施建设、设备购置及运行维护等。通过垃圾管理模式的变革，可以增加新的产业机会、就业机会，实现产业结构转型及绿色发展的目标。

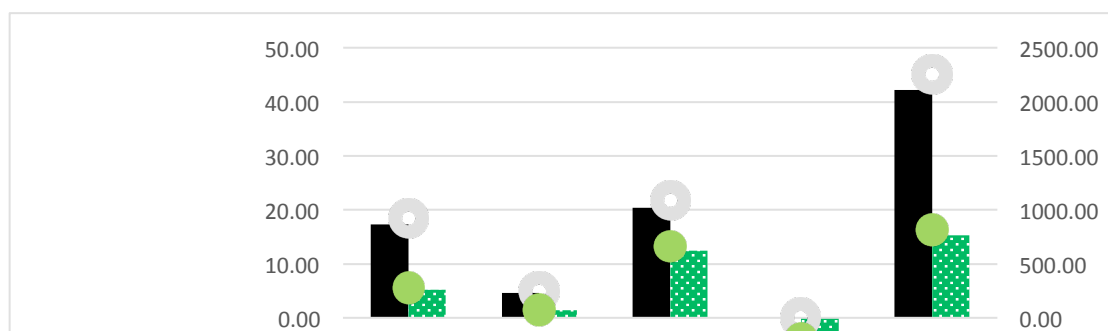


图 7-1 垃圾分类减量效果预测

## 8 结论与建议

### 8.1 结论

#### 8.1.1 垃圾焚烧代价巨大：公共财政补贴、健康损失、资源浪费

北京市在运行的 3 个生活垃圾焚烧厂，其焚烧处置社会成本 20.39 亿元，相当于 2015 年地区生产总值 22968.6 亿元的 0.089%。其中，排放二噁英类危险空气污染物造成的健康损失超七成，为 14.31 亿元；收费和各类补贴项目成本 6.08 亿元，包括支付的垃圾处理费 3 亿元，和电价补贴 1.5 亿元，具体如表 6-1。

每焚烧 1 吨生活垃圾，从垃圾运入焚烧厂算起，其社会成本为 1088.49 元，包括 764 元的健康损失，和 325 元的各类补贴。这些补贴中包括 163 元的焚烧处理费，额外支出 62 元的电价，43 元的底灰处理补贴，32 元的税收优惠，20 元的建设费用，4.9 元的土地租金和 0.4 元的渗沥液处理补贴，具体如图 6-1。为 456 元的的填埋末端处置费用的 2.39 倍。焚烧并不比填埋便宜，只是成本被转移了。

在考虑收运环节后，这一成本为 2253 元。而北京市非居民生活垃圾处理费 300 元/t，餐厨垃圾处理费 100 元/t，居民生活垃圾处理费 40-80 元/t，远远低于这一成本，不符合污染者付费原则。

焚烧是对有限资源的极大浪费，在生活垃圾管理更高效的国家、地区、城市，焚烧不是处理的优先选项，资源的替代 (Replace)、减量 (Reduce)、重复利用 (Reuse)、循环再造 (Recycle) 优于焚烧或填埋。财政补贴、健康损失、资源浪费是焚烧造成的三重浪费。



### 8.1.2 高产生高焚烧模式已被锁定，面临日益增加的环境风险

第一，权责的分散，补贴支付方的分散导致严重的政府失灵。各类补贴政策，尤其是电价补贴，转移城市政府成本支付的责任，垃圾分类减量、资源回收的职责已然落空：环境卫生管理部门只考虑垃圾处理费及填埋运营费，电价补贴由电网企业分摊给公众，国土资源局只考虑土地划拨，税务局只考虑减免的税收，环保部门在其中没有实质的规划决策权力。焚烧企业在各类补贴尤其是电价补贴的刺激下发电盈利。

第二，一旦焚烧厂建立起来，就会变成城市中持久性污染源。我国台湾省的经验告诉我们，焚烧处理费不会因焚烧量的降低而立即改变，因为政府要支付高昂的违约金，高产生高焚烧的模式至少持续 25 年以上。焚烧厂设施昂贵，即使未来没有生活垃圾可以用作燃料，焚烧厂也会烧工业废弃物来维持运营，或者以生物质能源作为燃料。

第三，预计北京市十一座焚烧厂每年造成的健康损失为 267 亿元，生活垃圾管理全过程社会成本 373 亿元，即每吨垃圾 6249.7 元。控制污染、维护健康、绿色发展的目标无从实现。

### 8.1.3 源头分类回收能显著、全面地降低垃圾管理社会成本

第一，源头分类后，其他垃圾清运量降低三分之二。如果人均生活日垃圾清运量从 0.949kg 降低至 0.287kg，现有三个焚烧厂的处理能力即可实现北京 82.4% 人口生活垃圾全焚烧，及 2020 年 2300 万人口的 77.76% 人口生活垃圾全焚烧。即使垃圾全焚烧，剩余垃圾仅能供一座 1000-1500t/d 的焚烧厂满负荷运营，新建焚烧厂面临巨大闲置风险。

第二，源头分类造成焚烧垃圾成分变化，实施源头分类的垃圾，由于厨余含量降低、含水率降低、热值提高、氯元素降低，渗沥液不必特别过滤处理，用于升温的辅助燃料得到节约，烟气中二噁英浓度降低，估计每吨垃圾焚烧处置社会成本降低 230.8 元。

第三，焚烧成本降低、资源回收增加、收运成本降低，垃圾管理社会成本降低至原来的三分之一，具体如图 7-2。这些节约的成本可用于促进垃圾分类回收的工作，包括法律法规建设、政策研究、宣传教育、设施建设、设备维护等。扭转现在高产生高焚烧的局面，实现绿色发展目标。

#### 8.1.4 污染者付费、生产者延伸责任制是实现绿色发展的制度路径

我国台湾省的生活垃圾管理经验表明，强制源头分类、资源回收体系建设是垃圾减量的扭转路径。而贯穿其中的是基于污染者付费原则的“垃圾计量收费”、“源头强制分类”和基于生产者延伸责任制“资源回收管理基金”政策，前者使消费者污染责任内部化，后者使生产者责任内部化，形成降低垃圾管理社会成本的机制。

发达国家和地区在生活垃圾管理上已经有成熟的政策和经验，由于权责分散、投入不足、制度缺失，我国的在源头分类及资源回收体系上还未探索出有效模式。国家发改委、住建部 2016 年联合发布的《垃圾强制分类制度方案(征求意见稿)》只对垃圾分类提出了象征性的“强制”要求，存在很多问题。时至今日，焚烧的高额社会成本和垃圾分类回收的必要性依然没有得到应有重视。

### 8.2 建议

#### 8.2.1 立即终结电价补贴政策，其他补贴显性化

由于不符合可再生、不危害环境的条件，生活垃圾焚烧只是垃圾处置方法而非可再生能源；电价补贴帮助维持了垃圾不分类的现状，刺激焚烧厂超额发电盈利，转移地方政府分类减量责任，应立即终结对垃圾焚烧的电价补贴政策。

所得税等实施即征即退，将税收减免显性化。公开每个焚烧厂的税收减免额度，使政府在核算焚烧成本上有更多的决策信息，在控制焚烧厂数量上，能适时降低减免额度。

渗沥液、飞灰、底灰处理按市场价收费，划定焚烧厂和下游产业责任边界，驱动焚烧厂通过控制入厂垃圾质量和技术改进降低渗沥液、飞灰、底灰产生量及处置成本。

垃圾处理费、土地划拨、建设补贴及以上补贴及税收优惠实施严格的信息公开，揭示垃圾焚烧补贴额度，使垃圾焚烧社会成本可核算、可衡量。改变相关部门对垃圾进场量及质量不关心不过问的现象，以经济激励、信息公开落实监管责任。

#### 8.2.2 实施垃圾焚烧全市统筹，坚决遏制“一区（县）一焚烧厂”格局出现

北京市焚烧厂多规划建立在区（县）边界附近，除东城区、西城区及外，多数区（县）均已或计划设立焚烧厂。然而焚烧污染并不以区（县）边界为边界。

要实现垃圾焚烧全市统筹，根据焚烧厂周边人口统计及垃圾减量预测，建设焚烧厂，在垃圾厂服务能力覆盖范围内，只设置一座综合性垃圾处理设施，控制北京市焚烧厂数量，坚决遏制“一区（县）一焚烧厂”格局出现。

### 8.2.3 确立权责一致的垃圾分类、减量管理部门

以节约资源使用、减少废弃物产生、促进物质回收再利用，实现可持续发展为主线，确立环保部门为主要责任部门。负责生活垃圾管理法律法规制定、规划方案制定、及设定目标达成。在该部门下设地方资源回收基金，通过基于生产者延伸责任的资金运作，促进垃圾分类回收。委员会成员均为兼任，可来自各个部门，可包括政府机关代表、行业协会代表、学者、专家及社会公正人士。基金由金融机构代管，避免财政资金拨付的周期长、沟通不畅问题。委员会内部可分为稽核认证与监督委员会、基金收支管理委员会、费率核算委员会。并根据应回收废弃物的类别建立包装容器分委员会、电子电器产品分委员会、轮胎及铅酸电池分委员会、有害生活垃圾（废旧照明光源、电池、温度计、血压计、油漆等）分委员会等。委员会确立例会制度，至少每月召开一次会议，对资源回收及基金运作事务进行决策。

### 8.2.4 尽快制定北京市生活垃圾源头分类计划，明确目标，完善法律法规体系

#### （1） 设定明确减量目标

在 291 个地级以上城市中，2014 年北京市地区生产总值全国排名第二，人均工资水平全国第一，生活垃圾清运量全国第一，应坚定地实施强制源头分类政策，先机构单位强制源头分类和全成本收费，后居民家庭强制分类，计量收费，制定生活垃圾强制分类、资源回收规划，设定明确的减量目标：

组织目标：到 2017 年底，确定权责集中的生活垃圾管理部门，成立地方资源回收基金委员会。

法规建设目标：2018 年底，废弃物清理、应回收废弃物、资源回收再利用三类地方性法规体系初具雏形，法规资料库实现网络查询。

数据平台建设目标：2020 年底，垃圾管理统计数据平台建立，垃圾量、管理成本、垃圾特性数据可查，实现生活垃圾管理全面信息公开。

2020 年分类减量效果目标实现，表 8-1 为关键绩效指标及目标值建议。

表 8-1 生活垃圾分类、减量关键绩效指标（建议）

关键绩效指标	评估	评估	衡量标准	全市目	市辖区	市辖县
--------	----	----	------	-----	-----	-----

	体制	方式	标值	标值	目标值
人均生活垃圾 日清运量减 量率	既有	数据 1- 组织统计	$1 - \left( \frac{\text{人均日清运量} + \text{历史最高年之人均日清运量}}{\text{组织统计}} \right) \times 100\%$		
资源回收率	既有	数据 [ (资源回收量+厨余回收量+巨大垃圾回收再利用 组织统计 量+其他项目回收再利用量) ÷垃圾产生量] ×100%	35%	45%	35%

## (2) 建立系统地方性法规、标准体系

建立分类、分层法规体系，并建立分类、分层法规查询系统，上下级法规间联系紧密、相互链接，如表 8-2 所示。

表 8-2 废弃物管理法规、标准分类分层体系

分层	分类	废弃物清除处理	应回收废弃物	资源回收再利用
地方政府法规		废弃物清理条例	应回收废弃物管理条例	资源回收再利用条例
地方政府规章		办法、细则	办法、细则	办法、细则
技术法规（强制性标准、 废弃物目录）		标准、目录	标准	标准

**分类：**如建立“废弃物清除处理”、“应回收废弃物”、“资源回收再利用”三类，体现物质在管理过程从没有价值到认识其潜在价值或危害，再到重新使之有价值的过程。资源回收基金涉及的规范性文件主要包含在“应回收废弃物”一类中。

**分层：**建立由地方政府法规、地方政府规章、技术性规范组成的不断分解细化的规范体系，在上一级法规中明确下一级规范性文件的制/修订主体、规范对象。

## (3) 建立资源回收基金制度、实施强制源头分类、计量收费政策

实施资源回收基金制度。制度内容包括：（1）责任业者（物品及其容器的制造及输入业者）在首次制造和输入责任物时，需要向主管机关登记，并每月按照其责任物量及费率向主管机关指定的金融机构缴纳回收清除处理费。（2）回收清除处理费中不少于 70% 的部分拨入信托基金部分、其余拨入非营业基金部分。信托基金用于向回收业和处理业支付废弃物品及容器的回收清除处理补贴及相关费用。非营业基金用于补助、奖励各团体收集处理工作，及其他管理、技术研发、收集运输工作。（3）在回收废物获得收入的激励下，消费者、政府机构、学校、团体等，通过回收将回收物交给回收商，会得到一笔收入，回收商再交给处理厂商也能得到相应收入，处理厂商进行处理后，就能得到回收基金的相应补贴，这

笔收入让处理商支付回收商的相关费用后，仍能赚钱。(4) 费率审议委员会负责确定征收费率与补贴费率，费率审议委员会确定科学的费率公式，并根据清除处理业成本调查确定费率。(5) 稽核认证团体是政府购买服务的第三方机构，对责任业者和回收处业进行监督，稽核认证团体受稽核认证监督委员会考核和监督。

实施强制源头分类。在地方性法规中明确垃圾排出者为强制分类责任者，必须进行垃圾分类，并配合相关标准（收运系统要求的分类规定，如应回收废弃物的分类种类及数量）将生活垃圾的应回收物分类交给收运系统。如果违反规定，要进行处罚。处罚的规则明确，监督到位，处罚额度要具有激励性。市主管机关负责区、县生活垃圾强制分类的协调及督导。区、县生活垃圾分类、资源回收主管部门负责本行政区内的强制分类制度落实，将强制分类纳入现行法律法规体系，负责制定当地分类办法、执行教育宣传、监督处罚、分类收运。

实施其他垃圾计量收费政策。计量收费制度是强制分类制度的经济激励手段，也是实现其他垃圾（即需末端处置的垃圾）持续减量的关键。其政策原理也是污染者付费原则。无论是随袋征收、称重征收，居民缴纳的清除处理费应反映清除处理的实际成本，该成本包括从垃圾收集、清运、到处理阶段所花费的全部成本，这一成本信息已有较成熟的统计方法，并可通过数据统计、成本调查的方式获得。

#### **(4) 建立多元开放分类回收体系**

多元主体参与才能形成广泛的回收网络，市场竞争才能不断提高处理效率、降低成本。多元开放分类回收体系是改变“长期试点，效果有限”的突破口。多元开放的回收体系的参与主体包括：

规划管理部门：包括分类回收主管部门及下设的资源回收基金管理委员会，负责建立分类、回收制度，界定责任业者（产品生产者、进口者、销售者）责任，收取经费，以经费推动其他主体运作；

区（县）政府及环卫部门：执行强制源头分类、分类清运，变卖所得回馈和奖励居民；

收集、回收商：与政府签订特许经营合同，向机构、公众、其他回收企业收购资源物；

机构、居民、社区商店、拾荒者：成立自愿回收组织、建立中小回收点、进行零散回收，将回收资源出售给回收商、处理商；

特许经营管理要划定经营范围，建立公私合作，保证收集、处理企业盈利但不暴利，支撑其分类、处理业务。

### 8.2.5 对生活垃圾焚烧厂实施固定源排污许可证制度

对生活垃圾焚烧厂实施固定源排污许可证制度，尤其是焚烧厂的二噁英等危险空气污染物的排污许可证制度，通过实施危险空气污染物的剩余风险评估，确保北京市二噁英类危险空气污染物的健康风险低于百万分之一，额外的减量落实到排污许可证中。确保焚烧厂要按照排污许可证的要求提供守法证据。同时，剩余风险评估也解决了现有项目环评难以解决的区域风险控制问题。

### 8.2.6 建立生活垃圾管理统计信息平台，实现全面和彻底的信息公开

第一，统计生活垃圾管理全生命周期物质数据。分年度和月度统计，包括已有的清运量、无害化处理量（填埋、焚烧、堆肥）、设施数量、清扫面积等，除此之外还要包括人均生活垃圾日清运量、资源回收量（塑料、纸、金属、废电器电子产品、厨余、大件垃圾、有害垃圾等）、各类资源回收率、综合回收率等。

第二，统计生活垃圾管理支出调查数据。分年度调查统计，调查对象包括各级政府及所属机关、事业单位、企业；调查科目包括新购置设备支出、新购土地支出、经常性支出等；调查范围包括生活垃圾管理的收集、运输、转运、处理、处置各个环节。通过调查可以计算出生活垃圾管理的全部成本及分阶段成本，高效的生活垃圾管理的标志是（1）源头分类高而末端处置低的成本结构；（2）垃圾管理社会成本不断降低。

第三，统计全市各区（县）生活垃圾特性数据。分季度调查统计，统计处置前的生活垃圾特性，包括干基热值、湿基低位热值、湿基高位热值、含水率、垃圾成分测定、垃圾元素测定等，用生活垃圾成分分析反映分类减量效果。有效分类的生活垃圾管理应产生低含水率、高热值、低厨余含量、低氯元素含量的垃圾。

第四，将生活垃圾全面信息公开纳入法律法规体系。生活垃圾管理属于公共事务，推进生活垃圾管理在无害化前提下的低成本化，实现社会监督，运营数据应实现全面信息公开。信息公开的主体包括：生活垃圾管理政府部门、资源回收基金委员会、事业单位（环卫中心、转运站、填埋场）、政府购买服务的企业（餐厨垃圾处理厂、资源收集商、资源处理商、焚烧厂），公开的信息包括清运量、处理量、填埋量、辅助燃料使用量、渗沥液产生量、飞灰量、底灰量、入厂热值、入炉热值、含水率、污染排放数据、垃圾处理费所得、售电所得、免税所得、补贴所得等，将公共事务支出和政府购买服务置于社会监督之下。为实施资源回收基金政策及计量收费政策提供决策依据。公民可以查询所有城市的相关信息。

## 参考文献

- [1] 首都之窗. 北京市生活垃圾处理设施建设三年实施方案(2013-2015年)[EB/OL]. (2013-06-01)[2016-04-11]. <http://zhengwu.beijing.gov.cn/ghxx/qtgh/t1312026.htm>.
- [2] 新华网. 垃圾焚烧这一年: 停不下来的脚步 不断走低的价格 [EB/OL]. (2015-12-18)[2016-04-11]. [http://news.xinhuanet.com/2015-12/18/c\\_1117504479.htm](http://news.xinhuanet.com/2015-12/18/c_1117504479.htm).
- [3] 叶国顺, 张梅英. “一县市一焚化炉”政策终止后之垃圾处理方式研究: 环境政策、规划管理与永续发展, 台北, 2006[C]. 台湾环境资源永续发展协会.
- [4] 林玲舟. 104年污染防治支出统计调查报告, EPA-104-M104-02-101[R]. 台北: 异视行销市场调查股份有限公司, 2015.
- [5] 台湾省行政环保署统计室. 九十二年度环保支出统计调查结果摘要分析[R]. 台北: 台湾省行政环保署统计室, 2004.
- [6] 钱玉兰. 一般废弃物(垃圾)收费技术研究, EPA-86-E3H1-09-01[R]. 台北: 台湾环保署废管处, 1997.
- [7] 马小康, 温丽琪, 谢锦松, 等. 垃圾费随袋征收与随水征收制度垃圾减量及回收成效评估专案工作计划[R]. 台北: 台湾民国环境工程学会, 2009.
- [8] 温丽琪. 台北市垃圾费随袋征收之探讨与分析[R]. 中华经济研究院, 2010.
- [9] 卫国栋. 废铝箔包及废纸盒包回收清除处理之成本收益评估, TMP-88-002[R]. 台北: 台湾省环保署废弃管处, 1999.
- [10] 杨清显, 刘敏信, 刘俊佑, 等. 电子电器资源回收之经济分析[R]. 台北: 2006.
- [11] 中兴工程顾问股份有限公司. 废食用油回收、PVC管制及一般废弃物清除处理成本估算专案工作计划(第二年)[R]. 台湾省环境保护署, 2008.
- [12] 萧江碧, 黄荣尧. 废弃混凝土再生利用成本效益分析之研究[R]. 台北: 国立中央大学营建管理研究所, 2003.
- [13] 詹尚文. 国内工业废弃物处理成本效益分析探讨—以印刷电路板业含铜污泥为例[D]. 台北: 国立台北大学自然资源与环境管理研究所, 2009.
- [14] 林鉴军, 任玉珑, 陈跃华. 我国垃圾发电厂上网电价定价模型[J]. 生产力研究, 2007(07):102-103.
- [15] 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—以北京市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2015,29(8):57-63.
- [16] 宋献中. 社会成本: 财务会计界不容忽视的课题[J]. 会计研究, 1993(02):26-31.
- [17] 联合国环境规划署. 二噁英和呋喃排放识别和量化标准工具包[R]. 日内瓦: 联合国环境规划署化学品处, 2005.
- [18] 武金陵. 我国垃圾焚烧发电技术创新的路径分析[J]. 生态经济, 2011(01):153-155.
- [19] 傅军伟. 浅谈垃圾焚烧发电技术的应用和发展[J]. 科技信息, 2008(27):32-326.
- [20] 王丰春, 田新珊. 垃圾焚烧发电技术在我国的应用[J]. 中国电力, 2002(06):40-42.
- [21] 国家发展改革委. 国家发展改革委关于完善垃圾焚烧发电价格政策的通知 发改价格[2012]801号[EB/OL]. (2014-09-29)[2016-4-12]. [http://www.nea.gov.cn/2014-09/29/c\\_133682178.htm](http://www.nea.gov.cn/2014-09/29/c_133682178.htm).
- [22] 张金成, 姚强, 吕子安. 垃圾焚烧二次污染物的形成与控制技术[J]. 环境保护, 2001(05):17-18.
- [23] KULKARNI P S, CRESPO J G, AFONSO C A M. Dioxins sources and current remediation

- technologies — A review[J]. *Environment International*, 2008,34(1):139-153.
- [24] WILLIAMS P T. Pollutants from incineration: an overview[J]. 1994.
- [25] 秦宇飞, 白焰, 王潇, 等. 北京市朝阳区城市生活垃圾组分分布特性研究[J]. *环境工程学报*, 2009(08):1498-1502.
- [26] WEBER R, HAGENMAIER H. PCDD/PCDF formation in fluidized bed incineration[J]. *Chemosphere*, 1999,38(11):2643-2654.
- [27] 李海英, 张书廷, 赵新华. 城市生活垃圾焚烧产物中二噁英检测方法[J]. *燃料化学学报*, 2005(03):379-384.
- [28] 赵树青, 宋薇, 刘晶昊, 等. 我国生活垃圾焚烧二恶英污染现状及减排建议[J]. *环境工程*, 2011(01):86-88.
- [29] 倪余文, 綦懿, 宋道, 等. 焚烧源二噁英连续采样技术与运行评价[J]. *环境监测管理与技术*, 2015(05):38-40.
- [30] 彭政. 垃圾焚烧飞灰二噁英的控制技术研究\_彭政[D]. 杭州: 浙江大学机械与能源工程学院, 2007.
- [31] 裴新辉, 谢群慧, 胡芹, 等. 二噁英对免疫系统影响的研究进展[J]. *环境化学*, 2011(01):200-210.
- [32] PESATORI A C, ZOCCHETTI C, GUERCILENA S, et al. Dioxin Exposure and Non-Malignant Health Effects: A Mortality Study [J]. *Occupational and Environmental Medicine*, Vol. 55, No. 2 (Feb., 1998), pp. 126-131, 2017.
- [33] 胡习邦. 国内外环境健康风险评估框架研究[J]. *环境与可持续发展*, 2016(01):25-28.
- [34] 齐丽, 任玥, 刘爱民, 等. 北京市某垃圾焚烧厂周边大气二噁英污染特征及暴露风险[J]. *环境科学*, 2017(04):1-16.
- [35] 胡习邦, 许振成, 王俊能, 等. 环境多介质中PCDD&Fs人群健康风险评估\_以珠江三角洲为例[J]. *生态环境*, 2011,2(20):311-316.
- [36] 杨杰, 刘茂, 李敏嫣. 基于蒙特卡罗的垃圾焚烧产生二噁英健康风险评估[J]. *安全与环境学报*, 2011(04):234-238.
- [37] 向明灯, 杨林, 于云江, 等. 基于健康风险评估的垃圾焚烧电厂选址研究[J]. *中国环境科学*, 2013(S1):165-171.
- [38] AGENCY C E P. HARP Overview[EB/OL]. (2016-08-10)[2016-11-28].  
<https://www.arb.ca.gov/toxics/harp/harp.htm>.
- [39] SOFTWARE L E. US EPA Models——Air Quality Models, Documentation & Guidelines[EB/OL]. (2016-11-28)[11-28]. [https://www.weblakes.com/download/us\\_epa.html](https://www.weblakes.com/download/us_epa.html).
- [40] AGENCY C E P. User manual for the HOTSPOTS analysis and reporting program air dispersion modeling and risk assessment tool version2[Z]. 2015: 2016.
- [41] OEHHA. Current Hot Spots Guidelines Technical Support Documents[EB/OL]. (2016-11-14)[11-28]. <http://oehha.ca.gov/air/air-toxics-hot-spots>.
- [42] 北京市企业信用信息网. 北京高安屯垃圾焚烧有限公司[EB/OL]. (2015-12-14)[5-12].  
[http://qyxy.baic.gov.cn/xyxc/queryCreditAction!qyxq\\_view.dhtml?reg\\_bus\\_ent\\_id=FA2298F396F9482C8CCE81AA83CD59F2&credit\\_ticket=7E15DE3F0D014413162662BD0A6E2D77](http://qyxy.baic.gov.cn/xyxc/queryCreditAction!qyxq_view.dhtml?reg_bus_ent_id=FA2298F396F9482C8CCE81AA83CD59F2&credit_ticket=7E15DE3F0D014413162662BD0A6E2D77).
- [43] 北京市发展和改革委员会. 引进社会资本推动市政基础设施领域建设试点项目实施方案 [EB/OL]. (2015-12-30)[5-12]. <http://www.bjpc.gov.cn/zwxx/ztl/wzz/al/201512/t9769947.htm>.
- [44] 中材地质工程勘察研究院. 北京市朝阳区生活垃圾综合处理厂焚烧中心[R]. 北京: 中材地质



- 工程勘察研究院, 2011.
- [45] 北京市政府. 北京市基准地价更新成果[EB/OL]. (2014-01-01)[5-12].  
<http://zhengwu.beijing.gov.cn/gzdt/gggs/P020140828565120213233.pdf>.
- [46] 北京朝阳区人民政府. 北京市朝阳区人民政府关于同意北京高安屯生活垃圾焚烧厂单位垃圾处理服务费及调价公式的批复[EB/OL]. (2009-11-26)[5-13].  
<http://www.bjchy.gov.cn/affair/zfjd/ggws/8a24f09a24ecf40801252e54d06f015c.html>.
- [47] 北京市朝阳区循环经济产业园. 朝阳区循环经济产业园业务运行周数据汇总数据公开[EB/OL]. (2014-12-30)[5-13]. <http://bcceip.bjchy.gov.cn/sub/newsSubMore/10101.htm>.
- [48] 中国经济新闻网. 北京发布燃煤发电企业上网电价调整通知[EB/OL]. (2014-09-23)[5-13].  
<http://www.cet.com.cn/nypd/dl/1319912.shtml>.
- [49] 中材地质工程勘察研究院. 北京市朝阳区生活垃圾综合处理厂焚烧中心环境影响报告书[R]. 北京: 中材地址工程勘察研究院, 2011.
- [50] 丁筱净. 飞灰处置的北京实验[EB/OL]. (2012-06-30)[6-30].  
[http://paper.people.com.cn/mszk/html/2012-12/31/content\\_1187465.htm?div=-1](http://paper.people.com.cn/mszk/html/2012-12/31/content_1187465.htm?div=-1).
- [51] 北京市发改委. 北京市发展和改革委员会 北京市环境保护局关于发布2015年第六批64家通过清洁生产审核评估单位的通知[EB/OL]. (2015-12-30)[6-11].  
<http://www.bjpc.gov.cn/zwxw/tztg/201512/t9817454.htm>.
- [52] 北京天健兴业资产评估有限公司. 北京高安屯垃圾焚烧有限公司拟增资项目资产评估说明(初稿)[R]. 北京: 北京天健兴业资产评估有限公司, 2013.
- [53] 京华时报. 朝阳国税“送礼”环保企业[EB/OL]. (2011-04-09)[5-15].  
<http://news.cntv.cn/20110409/107955.shtml>.
- [54] 北京市环境保护监测中心. 北京首钢生物质能源项目建设项目竣工环境保护验收监测报告书[R]. 北京: 北京市环境保护监测中心, 2016.
- [55] 孙新军, 李如刚, 贾明雁, 等. 2014北京市环境卫生发展概况[R].《北京市环境卫生发展概况》编纂委员会, 2015:72-74.
- [56] 北京市环境保护监测中心. 北京首钢生物质能源项目竣工环境保护验收监测报告书[R]. 北京: 北京市环境保护监测中心, 2015.
- [57] 张聪. 北京鲁家山垃圾焚烧发电厂将进入满负荷运营[EB/OL]. (2014-11-05)[18].  
<http://www.cn-hw.net/html/china/201411/47569.html>.
- [58] 环卫科技网. 北京鲁家山垃圾焚烧项目2015年发电2.94亿度[EB/OL]. (2015-12-30)[5-18].  
<http://www.cn-hw.net/html/china/201512/51728.html>.
- [59] 金慧瑜. 垃圾焚烧陷低价竞争, 破局之路维艰[EB/OL]. (2015-08-24)[6-18].  
<http://www.solidwaste.com.cn/news/229565.html>.
- [60] 北京市国家税务局. 北京市享受资源综合利用产品和劳务增值税优惠的纳税人情况统计表[EB/OL]. (2016-02-18)[5].  
[http://www.bjsat.gov.cn/bjsat/bsfw/tzgg/201602/t20160218\\_248514.html](http://www.bjsat.gov.cn/bjsat/bsfw/tzgg/201602/t20160218_248514.html).
- [61] 张小丹. 北京首钢生物质能源项目审定报告[R]. 北京: 中环联合(北京)认证中心有限公司, 2015.
- [62] 北京市事业单位法人信用信息网. 北京市顺义区生活垃圾综合处理厂[EB/OL]. (2014-01-01)[4]. <http://cs.bjbb.gov.cn/bz/year/133581.html>.
- [63] 科学促发展, 创新求和谐 北京市顺义区生活垃圾综合处理厂[J]. 城市管理与科技, 2012(05):82.

- [64] 中国科学院环境评价部. 北京市顺义区垃圾处理中心综合处理厂环境影响报告书[R]. 北京: 中国科学院, 2005.
- [65] 财经网. 环保部调查北京垃圾场偷排渗沥液 数十万吨排入市政井[EB/OL]. (2015-04-13)[5-21]. <http://money.163.com/15/0413/16/AN3HUG6600253B0H.html>.
- [66] 北京市环境保护监测中心. 北京市顺义生活垃圾处理中心综合处理厂工程建设项目竣工环境保护验收监测报告[R]. 北京: 北京市环境保护监测中心, 2009.
- [67] 常州三信环保设备有限公司. SLC—100生活垃圾焚烧炉[J]. 中国环保产业, 2006(4).
- [68] 国家卫生计生委疾病预防控制局. 中国居民营养与慢性病状况报告[M]. 1. 北京: 人民卫生出版社, 2015:13.
- [69] 刘帅. 空气污染健康损害评估参数和案例研究[D]. 北京: 中国人民大学环境学院, 2016.
- [70] 胡广宇, 毛阿燕, 董佩, 等. 北京地区六种癌症患者的诊疗情况和疾病经济负担分析[J]. 肿瘤防治研究, 2015(02):171-176.
- [71] 宋国君, 刘帅. 加强危险空气污染物专门化管理[J]. 环境经济, 2013(11):32-37.
- [72] 陈小亮. 中美二噁英相关标准的比较[J]. 中国环境管理, 2014(03):26-30.
- [73] 北京市发改委, 北京市市政. 北京市发展和改革委员会 北京市市政关于调整本市非居民垃圾处理收费有关事项的通知[EB/OL]. (2013-12-12)[5-23]. <http://zhengwu.beijing.gov.cn/gzdt/gggs/t1333889.htm>.
- [74] 欧远洋, 龙吉生. 提高垃圾焚烧厂发电效率的最新应用技术[J]. 环境卫生工程, 2015(01):65-68.
- [75] 萧清朗, 魏永昌. 勘察废弃物输出处理情形及参访美商国际集团上海浦东垃圾生化综合处理厂[Z]. 台北: 2008
- [76] 余荣华, 王昊男. 北京人口2020年控制在2300万以内[EB/OL]. (2015-03-08)[6-10]. <http://lianghui.people.com.cn/2015npc/n/2015/0308/c393680-26655266.html>.
- [77] 李爱民, 李东风, 徐晓霞. 城市垃圾预处理改善焚烧特性的探讨[J]. 环境工程学报, 2008(06):830-834.
- [78] AFFAIRS D F E F. Incineration of Municipal Solid Waste[R]. London: 2013.
- [79] 台北市政府环境保护局. 台北市政府环境保护局木栅垃圾焚化厂营运管理及环境品质检测报告[R]. 台北: 木栅垃圾焚化厂, 2015:23.
- [80] 淡江大学. 北投垃圾焚化厂简介[EB/OL]. (2016-06-05)[6-5]. [http://www2.tku.edu.tw/~az/enve/new\\_page\\_2.htm](http://www2.tku.edu.tw/~az/enve/new_page_2.htm).
- [81] 内湖垃圾焚化厂. 台北市政府环境保护局内湖垃圾焚化厂营运管理及环境品质检测报告[R]. 台北: 内湖垃圾焚化厂, 2015:37-42.
- [82] 邓黛青, 夏凤毅, 李光明, 等. UASB法处理城市生活垃圾焚烧场渗滤液[J]. 环境工程, 2006(02):11-13.
- [83] 吴味隆. 用热损失法测定锅炉热效率[J]. 化学世界, 1980(09):280-282.
- [84] 陈彤, 严建华, 陆胜勇, 等. 飞灰特性及氯对二噁英从头合成机理的影响[J]. 中国电机工程学报, 2007(11):27-32.
- [85] 李晓东, 杨忠灿, 严建华, 等. 垃圾焚烧炉氯源对氯化氢和二噁英排放的影响[J]. 工程热物理学报, 2003(06):1047-1050.
- [86] 张建强, 杨红薇, 程新. 垃圾焚烧与二噁英的产生及控制[J]. 四川环境, 2003,22(1):44-46.