

Research on the Program of Periodic Transportation from Rural Waste Transfer Station to Treatment Plant

Fei Ji, Shujun Lian

College of Management, Qufu Normal University, Rizhao
Email: 869371506@qq.com

Received: Jun. 9th, 2014; revised: Jul. 1st, 2014; accepted: Jul. 29th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The transportation from rural waste transfer station to treatment plant is studied in this article. Based on actual situation, the author proposed two programs of periodic transportation. One is periodic transportation. It refers that the waste was stored in the transfer station first. Then according to their respective cycle, all the waste in the transfer station is transported to plant. The other periodicity transportation is that the waste is transported every day, but due to the vehicle is not loaded, the surplus waste must be put in the transfer station. After a period of time, the rest of the waste is transported to treatment plant. Transport through the cost minimum mathematical model is set up, which obtains the optimal transfer cycle of waste transfer station. Finally the computational result of the case proves the availability of our programs. The models are scientific and the analysis of data is reasonable in this article. It analyzes the optimization problem of rural waste management option. And it has reference values.

Keywords

Waste Transfer Station, Treatment Plant, Periodic Transportation

农村垃圾中转站到处理厂的周期性运输方案研究

季 飞, 连淑君

曲阜师范大学管理学院，日照
Email: 869371506@qq.com

收稿日期：2014年6月9日；修回日期：2014年7月1日；录用日期：2014年7月29日

摘要

本文针对农村垃圾中转站到处理厂的运输进行研究。根据实际情况，提出了两个周期性运输方案：周期运输，即先将垃圾在中转站内进行存储，然后中转站按各自周期将垃圾清运到处理厂；每日运输，有余量的周期性运输，即每天将垃圾运往处理厂，但由于车辆不满载造成垃圾剩余，周期性清运剩余垃圾。通过对运输方案建立费用最小数学模型，从而得出各垃圾中转站的最优中转周期。最后通过具体的案例，证明了方案的有效性。文章模型科学，数据分析合理，分析了农村垃圾的处理方案的优化问题，有一定的参考价值。

关键词

垃圾中转站，处理厂，周期运输

1. 引言

2014年，我国的人口总数已经达到了13.6亿，其中农村人口占46.27%。虽然城镇化水平有所提高，但随着人们生活水平的提高，产生的垃圾量也越来越多。由于农村基础设施不完善，造成了农村生活垃圾任意堆放。据相关调查显示每天农村人均产生生活垃圾0.86 kg，其中任意堆放的垃圾占37.2%，那么2014年一年产生的生活垃圾约为2亿吨，其中任意堆放的垃圾达到了0.7亿吨。由于这些垃圾得不到及时有效的处理，长时间的腐败、液化，对周围的空气、土壤、水分都造成了严重的污染，直接影响到了人们的身体健康。为了改善农村的环境，达到可持续发展的目标，不仅要靠政府的资金投入，通过配置垃圾收集运输处理等一系列设施，使垃圾得到有效处理，更要增强人们环境保护的意识，从根源断绝生活垃圾污染环境的源头。

在我国城镇地区，已经形成了由收集、运输、转运、处理组成的生活垃圾收运系统。在该系统中垃圾的一般流程如图1所示。

而衡量一个垃圾收运系统的优劣，其中最重要的一项指标就是经济性。如何降低收运系统的成本，成为了人们研究的焦点。对收运系统的整体分析不难看出，其成本主要集中在前期中转站、处理厂的建设

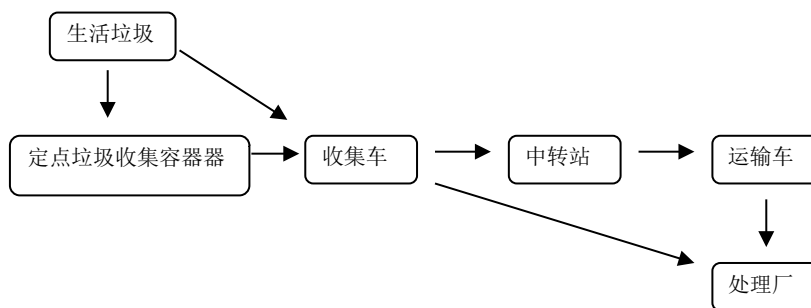


Figure 1. Flow chat of the waste
图 1. 生活垃圾流程图

设费用，后期垃圾收集运输转运处理等费用，与此相关的措施主要是确定垃圾中转站、处理厂的数目及其合理的选址建设，以及垃圾收集运输转运路线的优化等。国外对垃圾路线的优化研究比较早，研究的主要内容包括：邮递员问题；最短路问题；旅行商问题、销售员问题。而对于城市生活垃圾系统的研究主要体现在运用运筹学理论，对垃圾中转站、处理厂的选址以及对垃圾车辆路线的优化等。Piene 和 Davidson [1]对其研究的区域有害垃圾废弃物的管理进行了研究，通过建立管理费用最小线性规划模型，确定了垃圾中转站的位置、车辆运输的路线，最终提出了垃圾废弃物安全处理的方法。Anderson, L.E [2]最先运用混合整数规划的方法，对垃圾收运系统的规划与选址进行了研究，实现了对垃圾中转站、处理厂的选址优化及垃圾收运路线的优化。Baetz et al. [3]运用动态规划模型优化了垃圾废弃物能量转化系统，同时对运往各个处理厂的垃圾废弃物进行了优化分配。Koo et al. [4]对城市垃圾废弃物收运系统进行了研究，通过建立多目标规划模型，实现了对中转站、处理厂的选址。

我国对于生活垃圾收运系统的研究起步较晚，在早期由于缺乏科学的研究与规划，不仅生活垃圾得不到及时有效的处理，而且还造成了严重的资金浪费。近年来，国内的很多学者借鉴国外的经验，结合中国的国情，也做了大量的研究。盛金良和曹春华[5]介绍了城市生活垃圾收运模式的设计要求，同时又提出了几种常用的生活垃圾收运模式，最后又以杭州之江国家旅游度假区生活垃圾收运系统模式设计为例，说明了设计城市收运系统模式的一般步骤。王金华等[6]人对城市垃圾中转站选址的限制因素、选址理论，选址模型及其算法进行了多方面的说明，他指出选址布局直接关系到垃圾收运的费用，所以研究最关键的是对垃圾中转站选址模型及其算法的研究。吕新福等[7]研究了固体废弃物物流系统的 LRP 问题。通过建立 PLRP-IF 模型，采用启发式算法，对模型进行求解，最终确定了建立中转站的个数、位置以及垃圾的运输路线。贾传兴等[8]根据城市垃圾收运系统的特点，运用集合覆盖模型对垃圾中转的位置进行了初步优化，确定了垃圾中转站待选点的位置，又运用整数规划通过建立费用最小选址模型，确定了城市垃圾中转站的具体位置。姜薇薇[9]、连淑君[9]首次将农村作为研究的目标，根据我国农村的现实情况，建立线性规划费用最小选址模型，确定了中转站的位置，并进一步对中转站到处理厂的路线进行了研究，给出了最优的运输路线。最后通过具体的实例，证实了模型的可行性。

由此可以看出我国主要针对的是城市垃圾收运系统的研究，对我国的农村地区则研究的比较少。农村不同于城市，农村有以下几个特点：分布面积广，人口不集中，道路交通运输不发达，再加上又缺少垃圾收运等基础设施，比如垃圾桶等定点收集容器。所以对于城市垃圾收运系统的理论，在农村并不适用。因此，本篇论文把研究的方向由城市转向农村。在之前的研究工作中，根据我国农村的现实情况，采用了方便快捷，且相对简单的点对点收集运输方式：即每个村庄将垃圾集中堆放，由每个村庄委派的一辆小型垃圾收集车，每天将垃圾运往中转站；然后中转站的垃圾由中转站的大型运输车将垃圾进行压缩后运往处理厂进行处理。最后通过建立费用最小选址模型确定了农村垃圾中转站、处理厂的建设位置。在农村垃圾收集运输的过程中，前期的收集过程中可采用小型收集车进行垃圾的收集，将垃圾从村庄运往中转站，由于小型收集车单位距离运费低、运输距离近，所以运输费用较小。然而在后期的转运过程中，采用大型运输车将垃圾进行压缩后运往处理厂，与小型收集车相比，大型运输车的单位距离运费高且运输距离远，运输费用较大。如果要求每天将中转站的垃圾清运到处理厂，由于运输车不满载，从而导致运输成本增加，造成资金的浪费。基于这种情况，针对后期中转站到处理厂的转运过程提出了两个周期性运输方案，并结合具体的案例，对每天运输的方案与周期运输方案、不同的周期运输方案之间进行了对比分析验证，证实了方案的有效性。

2. 方案模型的建立

2.1. 周期性运输方案

2.1.1. 问题描述

垃圾中转站、处理厂位置已定。各村庄每天派小型收集车将村庄的垃圾清运到中转站，然后每个中转站按各自的周期，定期将中转站的垃圾进行集中压缩后，用大型运输车将所有垃圾运往处理厂集中处理。各中转站由于其建设规模、所能存储的垃圾量不同，其转运周期也各不相同。通过建立费用最小模型，从而得出各中转站的转运周期及最小费用。

2.1.2. 符号说明

- M' : 垃圾运输车的净载重量
 l_j : 第 j 个垃圾中转站到处理厂的距离
 T_j : 第 j 个中转站的运输周期
 η_j : 单位垃圾每天在第 j 个中转站的存储费用
 Φ_j : 村庄运到第 j 个中转站的垃圾量
 C : 垃圾运输车的单位运价
 C' : 垃圾运输车出车一次需要的固定费用
 $[]$: 数字取整

2.1.3. 方案模型的建立

成本的产生及原因:

1) 垃圾存储成本: 在转运周期内, 每天收集车将村庄的垃圾清运到各个中转站, 垃圾需在中转站内进行存储。

2) 垃圾运输成本: 中转站按各自的转运周期将垃圾全部运输到处理厂。

目标函数的建立:

总成本包括上述两方面, 但为了不同方案间进行对比分析, 以便选择最优的运输方案, 故本模型及以下模型的目标函数均为平均每天的总成本最小化。

模型如下:

$$\min \frac{\eta_j \cdot \sum_{t=1}^{T_j-1} t \cdot \Phi_j + \left[\frac{T_j \cdot \Phi_j}{M'} + 1 \right] \cdot (2l_j C + C')}{T_j}$$

约束条件:

$T_j \cdot \Phi_j \leq M_j$ (每个中转站周期内存储的垃圾量不能超过中转站的建设规模)

$0 \leq T_j \leq T$ ($j=1, 2, \dots, N$) (转运周期的限制约束)

2.1.4. 案例分析

以山东省的某个县级市为单位, 选取了该市范围内的 3 个垃圾中转站(编号{1,2,3}), 该市范围内有且只有一个垃圾处理厂, 以此为例。表 1 列出了每个中转站存储单位垃圾的成本、各个垃圾中转站每天收到的垃圾量以及各个中转站到处理厂的距离; 本案例的其他参数如表 2 所示, 特此说明的是, 由于垃圾长时间放置得不到及时有效的处理, 会导致中转站内存储的垃圾腐败、液化, 不但不易运输还会造成对环境更严重的污染, 所以对所有中转站的转运周期有一定的时间限制, 此处设置周期最长为 5 天, 对不同地域可视情况而定。

以上计算出了按此周期运输方案各个中转站的周期及最小费用。为了体现周期方案的经济性和有效性, 以下则计算出按每天清运方案的总费用。如果每天将中转站的垃圾清运到处理厂, 那么各个中转站

Table 1. The parameters of the case
表 1. 案例参数

中转站编号	1	2	3
存储单位垃圾的费用(元/t)	4	6	5
收到的垃圾量(t)	32	41	35
与处理厂的距离(km)	40	29	33

Table 2. The other parameters in this case
表 2. 本案例的其他参数

参数(单位)	数值	参数(单位)	数值
运输车载重量(t)	10	中转站规模(t)	150
运输车运行成本(元/km)	10	垃圾存储最长周期(天)	5
运输车出车一次固定费用(元/次)	15		

一天的总运费为 $\left[\frac{\Phi_j}{M'} + 1 \right] \cdot (2l_j C + C')$ ，根据案例中的参数，则各个中转站每天的总费用为：

从运算结果可以看出，按照此周期运输方案进行转运的方式比每天清运的方式更经济，更节省成本！

2.2. 每日运输，有余量的周期运输方案

2.2.1. 问题描述

中转站、处理厂位置已定，每天中转站将当日村庄运来的垃圾进行压缩后由大型运输车运往处理厂，当剩余的垃圾不满一车时，终止当天的运输，将剩余的垃圾留在中转站内进行存储。次日按相同的方法进行转运时，优先将昨日剩余的垃圾运输到处理厂，避免垃圾长时间的放置腐败对环境造成更严重的污染。剩余的垃圾尽可能多的积攒到不超过一辆运输车装载量的时候，中转站多派一辆运输车将积攒的垃圾全部运往处理厂。

2.2.2. 符号说明

- M' ：垃圾运输车的净载重量
- T_j ：第 j 个中转站的车运周期
- η_j ：单位垃圾每天在第 j 个中转站的存储费用
- l_j ：第 j 个中转站到处理厂的距离
- C ：垃圾运输车的单位运价
- C' ：垃圾运输车出车一次需要的固定费用
- $[]$ ：数字取整

2.2.3. 方案模型的建立

成本的产生及原因：

- 1) 垃圾运输成本：在各个中转站的车运周期内，运输车每天将中转站的垃圾运往处理厂。
- 2) 垃圾存储成本：由于运输车不满载，造成垃圾的剩余。按此方案的要求当日剩余的垃圾于次日优先运走，所以剩余垃圾只需在中转站内存储一天。

模型如下：

$$\min \frac{\eta_j \cdot (T_j - 1) \left(\Phi_j - \left[\frac{\Phi_j}{M'} \right] \cdot M' \right) + \left[\frac{T_j \cdot \Phi_j}{M'} + 1 \right] \cdot (2l_j \cdot C + C')}{T_j}$$

约束条件:

$$(T_j - 1) \left(\Phi_j - \left[\frac{\Phi_j}{M'} \right] \cdot M' \right) \leq M' \text{ (每天剩余垃圾的积累量不超过运输车的载重量)}$$

$$1 \leq T_j \leq T \text{ (清运周期的限制约束)}$$

2.2.4. 案例分析

以山东省的某个县级市为例, 该市范围内有一座垃圾处理厂, 选取了其中 3 个编号为{1, 2, 3}的中转站, 作为研究对象。为了方便将两个周期方案进行比较, 从而设计出各个中转站的最优运输方案, 还是采用案例 2.1.4 中的参数进行计算分析, 参数在表 1、表 2 中已列出。不同的是, 在案例 2.1.4 中为了防止垃圾在中转站内长期存储造成垃圾变质等情况, 设置的最长周期为 5 天, 但本案例由于采取了不同的运输方式, 剩余垃圾在中转站内仅存储一天, 故本案例设置的最长周期为 2 周。

运用 lingo 进行求解, 可以计算出每个中转站的转运周期及所需费用, 计算结果如表 5 所示。

通过对表 3、表 4、表 5 进行对比, 不难看出在本篇论文中设计的两个周期运输方案相比于每天清运的运输方案, 更节省成本; 而第二种周期运输方案比第一种周期运输方案, 在案例中更具有优越性, 节省成本也更高。然而中转站具体采用哪种运输方式, 不仅要考虑成本因素, 同时还要考虑其他的影响因素, 比如: 气候的差异、人员的配置、垃圾的种类以及道路的交通等, 这些因素都会对中转站运输方式的选择产生很大的影响。因此, 规划部门首先要对实地进行充分的考察后, 根据当地的具体情况, 综合所有因素, 运用科学的方法对中转站的转运方式进行选择。

3. 结论

本文对中转站到处理厂的后期运输进行研究, 在中转站处理厂位置已定的情况下, 结合实际, 介绍

Table 3. The calculation results

表 3. 计算结果

中转站编号	1	2	3
转运周期(天)	4	2	3
平均每天总费用(元)	2840.8	2800.5	2650

Table 4. The calculation results

表 4. 计算结果

中转站编号	1	2	3
平均每天总费用(元)	3260	2975	2700

Table 5. The calculation results

表 5. 计算结果

中转站编号	1	2	3
周期(天)	4	9	3
平均每天所需费用(元)	2654.8	2451.5	2491.7

了两种周期性运输方案。通过建立费用最小模型,计算出各中转站的最优转运周期。并通过设置具体参数,结合案例,对不同方案进行计算后,对结果进行对比分析,得出最优的运输方案。由于方案主要针对农村垃圾运输,切合实际,所以具有很强的实际应用性,模型设计合理,简洁易行,灵活性强,具有很高的效率。本篇论文的模型仅从成本的角度考虑,对具体案例的方案进行了选择。但在实际中,影响因素较多,所以对不同地域中转站的运输方案进行选择时,不仅考虑成本因素,还要根据当地实际情况,选择最适合本地的运输方案。

基金项目

本文由山东省自然科学基金(ZR2013AM013)资助。

参考文献 (References)

- [1] Piene, J.J. and Davidson, G.M. (1982) Linear programming in hazardous waste management. *Journal of Environmental Engineering (ASCE)*, **108**, 1014-1026.
- [2] Anderson, L.E.A. (1968) Mathematical model for the optimization of a waste management system. *Sanitary Engineering Research Laboratory, SERL Report*, **68**.
- [3] Baetz, B.W., Pas, E.I. and Vesilind, P.A. (1989) Planning hazardous waste reduction and treatment strategies: An optimization approach. *Waste Management and Research*, **7**, 153-163.
- [4] Koo, H.J., Shin, H.S. and Yoo, H.C. (1991) Multi-objective siting planning for a regional hazardous waste treatment center. *Waste Management and Research*, **9**, 205-211.
- [5] 盛金良, 曹春华 (2000) 城市生活垃圾收运模式设计. *环境卫生工程*, **2**, 85-87.
- [6] 王金华, 孙可伟, 房镇 (2008) 城市垃圾中转站选址研究. *环境科学与管理*, **5**, 57-59.
- [7] 吕新福, 蔡临宁, 曲志伟 (2005) 废弃物回收物流中的选址——路径问题. *系统工程理论与实践*, **5**, 89-94.
- [8] 贾传兴, 彭旭亚, 刘国涛, 刘长玮, 伍翔, 邓稼佳 (2006) 城市垃圾中转站选址优化模型的建立及其应用. *环境科学报*, **11**, 1927-1931.
- [9] 姜薇薇, 连淑君 (2013) 农村生活固体垃圾的收集与运输方案设计. *运筹与模糊学*, **3**, 45-52.