

城市固体废物处理方案优选的数学模型

杨巧林 倪建平 蒋国强 丁 铭

(扬州大学,扬州,225001)

引 言

城市固体废物的大量产生,已成为人类面临的十大环境问题之一。如何有效地处理固体废物,已是城市建设中一个棘手的问题。由于场地的日渐短缺,处理费用的不断提高,迫使人们寻求固体废物的减量化、无害化、资源化和能源化的综合处理方法。固体废物的收集、运输和处理属于系统工程的范畴,因而具有优化管理的问题。由于各行各业均有固体废物产生,如果分散处理,不仅技术上难以满足,而且在经济投资和资源利用等方面也不合理。因此将固体废物的收集、运输和处理纳入一个系统中进行通盘考虑,运用科学的方法制定出综合性的处理计划实属必要,而且对于经济建设、城市规划和生态环境建设具有重要意义。

本文基于这一思想,运用系统优化的方法,对于同时存在几种处理方案,处理地点又分散的城市固体废物处理系统,确定废物处理在数量分配和方案选择上的关系,从而在环境容量允许的前提下,实现城市固体废物处理经济效益和环境效益的统一。

1 固体废物处理系统的模型(I)

假设某一城市的固体废物源的废物不需要经中转站压缩、打包或分类,可直接运到处理场所进行处理,我们这时可作以下的系统描述,

设: n 为废物源 i 的数量; m 为废物处理或处置场所 j 的数量; x_{ij} 为单位时间内从废物源 i 运到处理场所 j 的废物量; C_{ij} 单位数量废物从废物源 i 运到处理场所 j 的费用; F_j 为在处理或处置地点 j ,单位数量废物的处理、处置费用; B_j 为处理地点 j 的处理或处置能力,可用单位时间内处理或处置废物量表示; W_i 在废物源 i 处,单位时间内产生的废物总数量。

则该城市固体废物处理系统的数学模型为

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} C_{ij} + \sum_{j=1}^m (F_j \sum_{i=1}^n x_{ij})$$

其约束条件为

(1)单位时间内从各废物源运到处理处置场的量要小于处理处置场 j 的处理能力,即

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq B_j \quad (\text{对所有的 } j)$$

(2)由一个废物源运出的废物量要等于产生的废物量,即

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = W_i \quad (\text{对所有的 } i)$$

(3)所有运出的量不能为负值,即

$$x_{ij} \geq 0 \quad (\text{对所有 } i, j)$$

以上模式用线性规划模型,引入松弛变量即可解出。

2 固体废物处理系统的模型(Ⅱ)

假设某一城市固体废物源的废物需要经过中间处理系统的处理,如压缩、打包或分类。这里我们可作如下的系统描述。

设: $n, m, X_{ij}, C_{ij}, B_j, W_i$ 同模型(Ⅰ); K 为中间设施 k 的数量; X_{ik} 为单位时间内从废物源 i 送到中间设施 k 的废物数量; X_{kj} 为单位时间内从中间设施 k 运到最终处理设施 j 的废物数量; C_{ik} 为单位数量废物从废物源 i 运送到中间设施 k 的费用; C_{kj} 为单位数量废物从中间设施 k 运到最终处理设施 j 的费用; B_k 为中间设施 k 的处理处置能力,可用单位时间内处置的废物量表示; P_k 为中间设施 k 处,固体废物处置后仍需处置的废物比例。如果中间设施是转运站,则 $P_k=1.0$;如果中间设施是焚烧炉,焚烧残渣如是 20%,则 $P_k=0.2$ 。

该城市固体废物处理系统的数学模型为:

$$\min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K C_{ik} X_{ik} + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^m C_{kj} X_{kj} + \sum_{k=1}^K F_k \left(\sum_{i=1}^n X_{ik} + \sum_{j=1}^m F_j \left(\sum_{i=1}^n X_{ij} \right) \right)$$

该目标函数的约束条件为:

(1)在废物源 i 产生的废物量 W_i 必须等于从这废物源 i 运送到 k 个中间设施和 j 分处理场所的废物量,即

$$\sum_{k=1}^K X_{ik} + \sum_{j=1}^m X_{ij} = W_i \quad (\text{对所有的 } i)$$

(2)在 K 个中间设施的处置能力为 B_k ,它必须大于或等于运送给它的总废物量,即

$$\sum_{i=1}^n X_{ik} \leq B_k \quad (\text{对于所有的 } k)$$

(3)最终处理场 j 的处理能力 B_j ,从收集点或中间设施直接送到最终处理场所的废物量不能超过 B_j ,即

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} + \sum_{k=1}^K X_{kj} \leq B_j \quad (\text{对于所有的 } j)$$

(4)运送到中间设施的无论什么废物,最后还必须送到最终处理场所,在中间设施处理后留下待处理的废物比率用 P_k 表示。

$$P_k \sum_{i=1}^n X_{ik} - \sum_{j=1}^m X_{kj} = 0 \quad (\text{对于所有的 } k)$$

(5)对所有的 $i, j, k, X_{ij} \geq 0; X_{ik} \geq 0; X_{kj} \geq 0$ 。

以上模式在线性规划模型不适用的情况下可以使用简单的网络系统技术。

3 固体废物处理系统的模型(Ⅲ)

假设在模型(Ⅰ)中,进一步考虑废物处理地点的固定投资,则在目标函数中应包含固定投资费用,为此我们假设

E_j ——单位时间内,处理处置地点 j 的固定投资费用。

为建立整个系统运行的数学模型,定义一个不连续的变量来表示处理场所的选择。

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{选择处理场所 } j \\ 0 & \text{不选择处理场所 } j \end{cases}$$

有了这个变量,就可以将不同方案的固定投资纳入到运行成本目标之中, Y_j 作为决策变量,只能取 0 或 1。

该城市固体废物处理系统的数学模型为:

$$\min Z = \sum_{j=1}^m E_j Y_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij} C_{ij} + \sum_{j=1}^m (F_j \sum_{i=1}^n X_{ij})$$

该目标函数的约束条件为

(1) 单位时间内从各发生源运入处理处置场所的废物量要小于处理场所 j 的处理能力, 即

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \leq B_j Y_j \quad (\text{对所有的 } j)$$

(2) 由一个废物源 i 运出的废物量要等于产生的废物量, 即

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = W_i \quad (\text{对所有的 } i)$$

(3) 所有运出的废物量不能为负值, 决策变量 Y_j 只能取整数 0 或 1, 即

$$X_{ij} \geq 0 \quad (\text{对所有的 } i, j)$$

$$Y_j = 0 \text{ 或 } 1 \quad (\text{对所有的 } j)$$

由于该模式中的决策变量 Y_j 只能取整数 0 或 1, 而 X_{ij} 不一定取整数, 所以此问题归结为一混合整数规划(MIP)问题, 运用关键路径法(CMP)的思想, 可用隐枚举法来解决这一混合整数规划问题。我们在文^[1]中对废物处理系统运行过程的数学模型(■)进行了具体分析和处理, 详细步骤见文^[1]。

4 综述

(1) 城市固体废物处理的方案优选和分配问题, 迄今未受到普遍重视, 如能运用系统科学的方法指导这项工作, 不仅能提高废物处理的效果, 缓解城市环境压力, 而且能节约大量的人力、物力、财力。

(2) 由于固体废物的成份、来源、收集方式各有不同, 以及城市地理、自然条件的差异。因此, 可以根据实际情况确定相应的处理方案, 及收集站的数量、位置, 上述建立系统运行的模型同样适用。

(3) 以上整个处理方案的优选模型, 只是着眼于最小的运行成本, 对废物处理带来的环境影响未加考虑, 实际可用定量和定性分析的方法将环境影响的因素隐含在模型之中。具体方法有二: 一是将污染控制费用补充到废物处理成本之中; 二是限制处理容量, 给予一个适当的约束。以不至于对环境造成严重的影响。

(4) 以上处理系统仅在一个城市考虑, 实际上相邻两个或多个城市之间, 可以在固体废物的处理上进行“横向联合”, 即将不同城市视为上述系统中的发生源, 这样可以在城市规划、国土整治和节省资源等方面综合进行考虑。

参考文献

- 1 于 铭, 倪建平, 杨巧林, 蒋国强. 城市固体废物处理方案优选研究. 扬州工学院学报. 1994, 1: 26~32
- 2 李 德, 钱颂迪. 运筹学. 清华大学出版社. 1982
- 3 A. Halth Environmental System Optimization John Wiley 1982
- 4 L. G. Rich Environmental System Engineering McGraw-Hall. 1973