

# 一个有害物品填埋场选址的决策支持系统

王刊良 徐寅峰 汪应洛

(西安交通大学管理学院, 710049)

**摘要** 有害物品对环境和人类的危害正在日益加深, 对于象中国这样的发展中国家来说有害物品的产量大、危害严重而处理率低。将各人口中心(如城镇)产生的有害物品运送到指定地点(填埋场)集中处理和存放是一条既经济又在技术上可行的方法。

本文描述了一个支持有害物品填埋场选址优化决策的决策支持系统。该系统是一集成化的优化系统, 它通过以下三个步骤完成优化决策: 生成模型、优化模型、打印结果报告。有害物品填埋场选址问题一般涉及以下因素: 第一, 效率或成本, 即填埋场同相关有害物品产生地间的总运输成本; 第二, 风险, 即由于填埋场中的有害物品及运送有害物品的车辆会给填埋场及沿途附近环境带来潜在的危害, 因而象城镇这样的人口密集地均不希望靠近填埋场及所经路线; 第三, 风险公平性, 填埋场选址的风险可能强加在一部分人头上而使其它相关群体没有或只有很少风险。本文在一个DSS上实现了考虑上述目标的模型及优化算法, 决策者可按组合方式构造特定情形下的优化选址模型, 利用权衡表技术帮助决策者在有冲突目标的方案选择时对各种目标的权衡及其结果有直观地感受。本文对于选址问题的求解是基于优化算法的, 因而它可以有效地求解相当复杂的同类问题。

**关键词** 有害物品 选址 决策支持系统

## A Decision Support System for Sitting Hazardous Materials

Wang Kanliang Xu Yinfeng Wang Yingluo

(Xi'an Jiaotong University, 710049)

**Abstract** The potential damage of hazardous materials to human being and its environment is increased dramatically. For developing countries like China, hazardous material has the following characteristics: large quantity, serious damage and very low processing rate. It is a feasible alternative to transport hazardous materials from population centers to specific places to process and store.

This paper describes a decision support system for aiding the sitting of hazardous materials. As an integrated optimization system, it accomplishes the decision by the following procedures: model generation, model optimization/solving, and reports printing. In general, the sitting of hazardous materials involves the following elements: efficiency or cost (i.e., the total transportation cost between hazardous material sitting and places generated these hazardous materials), risk (i.e., population centers like large cities are reluctantly as neighborhoods of hazardous material sittings since it may bring about potential damages to the environment and human life), and equality of risk (i.e., the risk brought by hazardous materials should be distributed to the relevant population in an equal way). The paper describes a DSS considering the above objectives and several optimization algorithms. Decision makers can construct specific optimization model. By using tradeoff tables, decision makers may get instinct perceptions

over several alternatives with conflict objectives. The solution of sitting problems in the paper is based on optimization algorithm, thus it can solve similar complex problems in an efficient way.

**Keywords** Hazardous materials; sitting; decision support system

## 1 引言

有害物品对人类环境造成严重威胁,工业化发达国家每年花费巨资用以管理有害物品“从摇篮到坟墓”的全过程。有害物品的选址和选线问题受到国际学术界的广泛关注(例: Boffey et al, 1993; 毕军等, 1995; Erkut et al, 1994)。对于正处于发展工业化的中国来说,有害物品对环境和人的(潜在)危害正在日益扩大和加深,具体表现在: 1) 产生量大, 估计年产生量约在 6000 万吨; 2) 处理率低, 目前我国工业固体废物处理率为 20% 左右, 而有害物品处理率仅为 10%, 大多数废物在未处理情况下任意排弃或堆放而得不到有效的控制; 3) 危害严重, 地下水重金属污染最为突出, 大量水井因此报废, 污染事故时有发生(例: 陈利秋, 1995)。

在环境污染控制领域中, 有害物品处理技术发展最为缓慢, 而有害物品安全填埋处置技术是目前国外应用最广、比较经济实用的处置技术, 适合我国的基本国情。目前我国已有的有害物品填埋场有吉林市工业废渣填埋场, 吉林化学工业公司建筑的填埋场, 并将在江苏无锡、广州深圳等地建设有害物品填埋场, 由于这些已建成的、正在建设的填埋场距离相应工业城市距离较近, 其选址的指导思想基于低运输成本的、NMBY (Not In My Back Yard) 观点。从长远来看, 填埋场选址规划的这种指导思想是值得进一步推敲的, 主要原因在于填埋场距这些工业城市近, 而这些工业城市往往是人口最密集的地方, 因而所受危害更大, 象中国这样地域广阔、人口众多的国家在更长远、更广泛范围内规划有害物品填埋场选址是极为迫切的。应用于该领域的决策支持系统是以地理、水文地质等数据为基础, 以优化模型管理为核心的计算机系统, 可以有效支持诸多有害物品选线和填埋场选址这类问题。通过设定问题参数、决策者的偏好和权重, 决策支持系统可以产生不同情形下多个优化备选方案供决策者分析参考, 提高和加深决策者对所面临问题认识的广度和深度。

本文描述的有害物品填埋场选址优化决策支持系统通过以下三个步骤实现决策支持, 即(1) 模型生成, (2) 模型优化, 及(3) 分析报告打印。该系统对于有害物品填埋场选址问题的结构考虑了以下目标, 即(1) 效率或成本, 即填埋场同相关有害物品产生地之间的总运输成本, (2) 风险, 即由于填埋场中的有害物品及运送有害物品的车辆对填埋场附近及沿途居民和环境带来种种潜在危害, (3) 风险公平性, 即填埋场的风险应较均匀地分布在相关人群或人口密集地之间, 这些目标有可变的权重(参数)。文章首先对有害物品填埋场选址问题进行了分析并给出了优化模型的组合结构及典型的优化模型。然后简要叙述了这类优化模型的基本求解算法; 接着描述了支持该问题求解的决策支持系统的结构和求解过程, 最后提出了进一步研究的思路。

## 2 基本要素、模型组合结构及优化模型

### 1. 基本要素

有害物品填埋场选址问题从本质上讲是一多目标规划问题, 它涉及成本、风险及风险公平性等方面的因素。

#### (1) 成本

一般的选址问题考虑的首要因素是成本。有害物品填埋场选址问题也不例外, 例如填埋场的位置不应距有害物品产生地太远, 否则运送有害物品到填埋场需花费太大的成本, 从经济上是很不合算的。因而从经济角度考虑, 有害物品填埋场的位置应当使得所有相关有害物品产生地到填埋场的加权距离(例根据有害物品产生量来加权)尽可能的小。从优化角度考虑, 该目标的实现有以下基本方式: (1) 最小和 (min sum) 即所有相关有害物品产生地距填埋场的加权欧氏距离之和为最小(例 Erkut et al 1992, 1994); (2) 最小最大 (min max) 即离填埋场最远的有害物品产生地到填埋场的加权欧氏距离为最小。此外, 成本还应包括填

埋场建设和运作费用。

### (2) 风险

有害物品填埋场不同于其它商业网点或公共设施(例学校、医院、超级商场等,人们希望离这些服务设施尽可能的近),它应当尽可能小地危害附近区域。而这种危害的程度常依赖于它距离人口密集地区的距离。从风险角度考虑,填埋场应当距离人口密集地区尽可能地远。该目标可以通过以下基本方式来实现:

(1) 最大和(max sum),即所有相关的有害物品产生地距填埋场的加权欧氏距离之和为最大(例 Church etc, 1978); (2) 最大最小化(max min),即距填埋场最近的有害物品产生地距填埋场的加权欧氏距离为最大(例 Drezner etc, 1985; Dasarathy etc 1980) 显然,风险目标和成本目标是相互冲突的,风险的降低要以更高成本为代价,反之成本的降低风险的提高为代价,因而有害物品填埋场选址问题具有明显的博弈性质。

### (3) 风险的公平性

使得有害物品填埋场选址问题复杂化的另一方面因素来自于公众对风险的看法和态度。民主社会的一个基本出发点是不能剥夺任何一部分人(哪怕是很小一部分)的生存权,或无端强加给其额外的风险。有害物品是社会的产物,它所带来的风险应当以较为公平的方式施加于相关公众,而不应使相关的一部分人承担过多的风险。因而,风险的公平性成为有害物品选址问题的第三个目标。该目标的实现一般有以下几种基本方式: (1) 最小化均值差( $\min \sum |d_i - \bar{d}|$ ),即所有人口密集地因有害物品填埋物和有害物品运输所承担的风险同其场值差的绝对值之和为最小;

(2) 最小化比较差和( $\min \sum |d_i - d_j|$ ),即所有人口密集地承担的风险两两之差的绝对值之和为最小(例 March etc, 1994),

## 2 模型组合结构

上述三个目标的实现方式分别有许多种变化,例如对风险公平性而言,最小化均值差和可演化出如下形式: $\min \sum \sqrt{d_i^2 - \bar{d}^2}$ 。综上所述,有害物品填埋场选址问题涉及如下三方面的目标,即成本、风险和风险公平性,而这些目标的实现大多至少有两种以上的实现途径,组合起来可以建立八个不同的优化模型(如表1)。

表1 有害物品选址问题优化模型的组合结构

优化模型	成本		风险		公平性	
	$\min \sum$	$\max$	$\min \sum$	$\max$	$\min \sum  d_i - \bar{d} $	$\sum  d_i - d_j $
1	√		√		√	
2	√		√			√
3	√			√	√	
4	√			√		√
5		√	√		√	
6		√	√			√
7		√		√	√	
8		√		√		√

由实现上述三个目标的不同方式组合构成的不同优化模型的出发点不同,所得出的优化方案也可能不同。关于这一点,一些现有的研究(例 Erkut etc 1992)为此提供了部分证据。

## 3 典型优化模型

不失一般性,我们假设成本、风险、风险公平性均是人口密集地或有害物品产生地距填埋场的加权欧

氏距离的线性函数。由于篇幅所限本文不可能罗列所有情形下的优化模型, 这里仅给出一个典型的优化模型例子。在本例中, 对于成本和风险分别采用  $\text{min sum}$  和  $\text{max sum}$  优化方法, 对于风险公平性采用最小化均值差和的优化方法。

这样, 有害物品填埋场选址的一个优化模型可以表述为:

(目标) 
$$\text{min } C = \sum_j \sum_k F_{jk} Y_{jk} + \sum_i \sum_j f_{ij} x_{ij}$$

$$\text{max } R = \sum_i \sum_j R_{ij} + \sum_i \sum_j d_{ij} (POP)_i$$

$$\text{min } E = \sum_i \sum_j |R_{ij} - \bar{R}|$$

(条件) 
$$\sum_j x_{ij} = D_i, \quad (i = 1, \dots, m)$$

$$\sum_i x_{ij} \leq \sum_k a_k Y_{jk}, \quad j = 1, \dots, n$$

$$\sum_k Y_{jk} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0, Y_{jk} = 0 \text{ 或 } 1, \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, K$$

$F_{jk}$ = 配置  $k$  填埋场选址在  $j$  处的建设和运作费用;

$f_{ij}$ = 人口密集地  $i$  到位于  $j$  处填埋场的单位运输成本, 它同距离成正比关系, 例:

$f_{ij} = t_{ij} d_{ij}$  ( $t_{ij}$  为同路面质量等有关的参数);

$d_{ij}$ = 人口密集地  $i$  至  $j$  处填埋场的距离;  $(POP)_i$ = 人口密集地  $i$  的人口数量;

$D_i$ = 人口密集地  $i$  每年需运出的有害物品量;  $a_k$ = 配置  $k$  填埋场的年度容量;

$\bar{R}$ = 量化风险的均值, 即  $\bar{R} = \frac{\sum_i \sum_j R_{ij}}{m n}$

决策变量为

$x_{ij}$  = 位于  $j$  处填埋场可接收来自人口密集地  $i$  的有害物品量

$Y_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{代表在 } j \text{ 处建设配置为 } k \text{ 的填埋场;} \\ 0 & \text{代表其它} \end{cases}$

显然, 这是一多目标规划问题, 我们可以用单纯形法或  $Lagrange$  乘子来求解, 或者枝定界法、或列生成法, 或干脆将其转化为一单目标决策问题来求解。例如: 目标可转化为如下形式:

(目标) 
$$\text{min } Z = w_1 C + w_2 R + w_3 E$$

其中,  $w_1 + w_2 + w_3 = 1$  为三个目标间的权衡参量。我们在本系统中就是采用该方法来求解的。

### 3 支持有害物品填埋场优化选址的决策支持系统

在上述背景和建模基础上, 我们设计开发了支持有害物品填埋场选址优化的决策支持系统, 该系统由以下三个核心部件组成: 问题生成器、基于单纯形法的网络优化器和报告生成器, 如图 1 所示。

第一个部件, 即问题生成器, 从输入文件生成网络优化所需要的问题描述文件。输入文件包含成本、位置 (人口密集地及填埋场候选地址)、人口分布情况、填埋

场各种配置的容量及建设运作成本、有害物品产生量及其分布, 以及决策者对于成本、风险及风险公平性的权衡参数等; 第二个部件, 即基于单纯形法的网络优化器, 读入问题描述文件及权重因子, 并求出问题的优化解; 第三个部件, 即报告生成器将网络优化器的输出以图表形式输出至决策者。加权方法可产生方案

表 2 权衡表

权 重 ( $w_t, t=1, 2, 3$ )			结果
$C$	$R$	$E$	最小化
0.98	0.01	0.01	$C$
0.01	0.98	0.01	$R$
0.01	0.01	0.98	$E$

的帕累托最优边界。为了使决策者深入洞析三个目标之间的折衷,我们采用了一权衡表(如表2)。对于任一目标设置不同权重使得某一目标权最大,其它二目标权最小,这样一共有三种不同情形。不同情形下的优化方案呈现给决策者可以用最紧凑明了的形式说明目标的权衡情况。

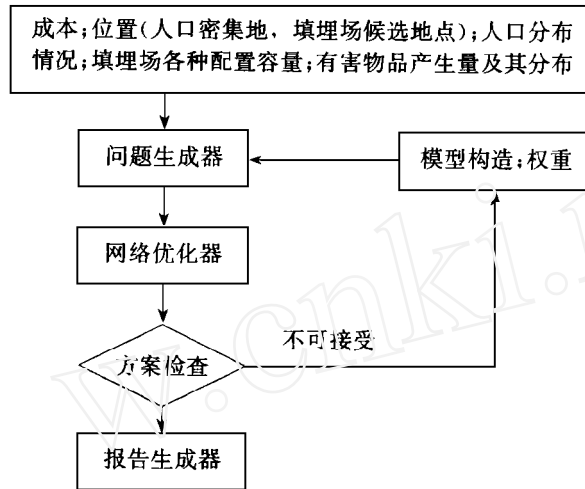


图1 有害物品填埋场选址优化决策支持系统

决策者可以根据特定情况任意组合选择实现风险、成本及公平性目标的方式进而构造恰当的优化模型。也可以通过构造不同的优化模型比较其最优方案帮助决策者进行目标权衡。根据决策者提供的权重该决策支持系统可求解出最优方案。在方案实施之前,决策者可以检查所输出的报告,通过直觉来判断方案的质量。如果对于决策者来说,其他方案是所期望的,他可以改变权重及其它有关参数重新运行该系统。当决策者对于产生的方案感到满意时便可以生成最终报告。

#### 4 讨论和结论

1. 就有害物品填埋场选址而言,除了考虑文中所描述的三个因素(即成本、风险及风险公平性)之外,还应当考虑一些主要的技术因素,例如地理因素、水文地质因素、工程地质因素。通过对所有主要相关因素的分析,可以建立填埋场选址优化的综合性的决策支持系统。

2. 本文提供了有害物品填埋场选址的基本思想、模型和支持工具的结构,在此基础上我们可以将该系统移植到地理信息系统(GIS)平台上,进而提高人机交互的效率和质量。例如参数的输入和结果的生成均可以直观方式进行。

3. 本文提供的模型是建立于填埋场有候选地点的条件下,模型可进一步扩展用以求解最优填埋场的生成,即没有候选地点时在现有填埋场分布配置情况后增加若干填埋场情形下最优解的求解上。

针对有害物品填埋场选址问题,本文首先讨论了问题所涉及的目标及其相关因素。然后建立了问题的优化模型,描述了在此基础上建立和开发的支持该问题求解的决策支持系统。该系统可以用较少时间求解此类问题并给出深入详细的分析结果,本文中的模型并不旨在寻求一“最优解”而是用以分析帕累托最优解以及相关的权衡。文中的模型和方法可作少许修改用以求解其它类似的具有冲突目标的决策问题。

#### 参考文献

- 1 Boffey B and Karkazis J. Models and methods for location and routing decisions relating to hazardous materials. *Studies in Locational Analysis*, 1993

- 2 Chang S S and Cheol M. Locating an obnoxious facility on a Euclidean network to minimize neighborhood damage. NETWORKS, 1994, 24: 1- 9.
- 3 Church R L and Ganfinkel R S. Locating an obnoxious facility in a network. Transportation Science, 1978, 12: 107- 118.
- 4 Dasarathy B and White L J. A maximum location problem. Operations Research, 1980, 28: 1385- 1401.
- 5 Drezner A and Wesolowsky G O. Location of multiple obnoxious facilities. Transportation Science, 1995, 19: 193- 202.
- 6 Erkut E and Newman S. A multiobjective model for locating undesirable facilities. Annals of Operations Research, 1992, 40: 209- 227.
- 7 Erkut E and Verter V. Hazardous materials logistics: a review. Research Report, 1994(3), University of Alberta.
- 8 Erkut E. On the inequity of location problems. Working paper 92- 4, Faculty of Business, University of Alberta.
- 9 Kleindorfer P R and Kunreuther H C. Siting of hazardous facilities. Handbook of Operations Research, 1994.
- 10 March M T and Shilling K A. Equity measurement in facility location analysis: a review and framework. European Journal of Operational Research, 1994, 74: 1- 17.
- 11 Melachrinoudis E. An efficient computational procedure for the rectilinear maximum location problem. Transportation Science, 1988, 22: 217- 223.
- 12 毕军, 王华东. 有害废物运输环境风险研究. 中国环境科学, 1995, 15(4): 241- 246.
- 13 陈利秋. 中国有害废物污染现状控制对策探讨. 环境科学, 1995, 15(5): 83- 87.

(上接第 12 页)

实施了上述战略转变, 将能使我国的股票市场在不断扩大规模的同时, 健康稳定地走向成熟。

## 6 总结说明

上述股票市场的两个模型: 均衡模型和调控模型说明正常的, 理想的股市应是一个可受控制但又在某一时期内自由演化的不确定性系统, 我们称其为“受控自由”(controlled-free)的股票市场, 上述股市演化与调控的模式对国家制订股市战略管理与宏观调控策略有一定的启发作用: 一是采用市场流通总量控制, 比利率, 税率或直接行政干预方法调控手段更专一, 稳健, 二是指出股票系统“瓦尔拉斯均衡”的存在和成熟股市的自我稳定功能, 国家只要保持股票市场按上述模式良性运转, 在一定时期内可以达到无为而治。

## 参考文献

- 1 Aubin J P. Viability Theory. Systems and Control. Birkhauser, 1991.
- 2 Aubin J P, Cellina A. Differential Inclusions. Springer-Verlag, Heidelberg.
- 3 Louis M akowski. Competitive Stock Markets. Review of Economic Studies, 1983.
- 4 黄志凌. 1991- 1996: 中国证券市场发展轨迹与趋势分析. 中国投资与建设, 1995, 1.
- 5 保罗·A·萨缪尔森, 威廉·诺得豪斯. 经济学. 中国发展出版社, 1992.
- 6 杨瑞龙. 宏观非均衡的微观基础. 中国人民大学出版社, 1994.