

城市医疗废物处置设施空间选址评价

郭茹¹, 贾海峰^{1*}, 程声通¹, 李秀金²

(1. 清华大学环境科学与工程系, 北京 100084; 2. 北京化工大学环境工程系, 北京 100029)

摘要: 以地域分异规律和吸引力模型为理论基础, 提出基于 GIS 的城市医疗废物处置设施选址的空间评价模型, 利用第三代 GIS 地理数据库模型 Geodatabase 实现了该方法. 以珠江三角洲某城市为例, 将该市划分为 46 个镇级基本单元, 应用情景分析方法生成了医疗废物集中处置的 2 个空间选址方案并进行了空间评价; 为了进行对比分析, 还构建了传统的费用模型进行了评价, 两者结果一致. 进一步的空间分析表明, 该市医疗废物数量空间分布和密度空间分布和较优方案具有空间相关性.

关键词: 选址; 地理信息系统; 地理数据库模型; 医疗废物; 评价

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)02-0386-06

Study on Spatial Site Selection Assessment of Urban Medical Waste Treatment Facility

GUO Ru¹, JIA Hai-feng¹, CHENG Sheng-tong¹, LI Xiur-jin²

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Department of Environmental Engineering, Beijing Chemical Engineering University, Beijing 100029, China)

Abstract: Based on the principle of regional differentiation and gravity model, this paper proposes a GIS-based urban medical waste treatment facility spatial site selection assessment method. And the method is implemented by use of the third generation GIS database model, Geodatabase. Taking a city in Pearl River Delta as a case, based on its 46 basic units, two scenarios for medical waste central treatment are designed and analyzed by means of scenario analysis(SA) and then the better scenario is recommended. The assessment result of traditional cost model shows the same conclusion. Further spatial analysis shows that the distribution of medical waste quantity and density are both related to the better scenario spatially.

Key words: site selection; geographic information system(GIS); geodatabase; medical waste; assessment

医疗废物是危害极大的特殊危险废物, 我国在 1998 年颁布的《国家危险废物名录》中包括 47 类危险废物, 其中前 3 类均属于医疗废物. 随着社会经济发展和城市化进程的加快, 城市医疗废物污染越来越引起人们的关注. 为了以尽量小的代价来有效控制城市医疗废物污染, 合理进行城市医疗废物污染防治规划十分必要, 而医疗废物处置设施的选址则是规划的核心问题之一. 2004 年, 国务院批复的《全国危险废物和医疗废物处置设施建设规划》中, 规划建设医疗废物集中处置设施 300 个, 新增处理能力 2 080 t/d, 这对医疗废物处置设施的合理选址提出了更为迫切的要求.

目前, 我国在城市医疗废物规划与管理方面, 大多数城市仅从宏观政策方面提出集中处置的思路框架, 没有进一步根据局部区域的特点深入研究设施的空间选址问题, 如上海市和东莞市的医疗废物处置问题研究^[1~3]. 地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 技术具有效率高、空间分析功能强等特点, 已经被广泛应用于环境保护、城市规划、政府管理等众多领域^[4,5]. 本研究以珠江三角

洲某城市为例, 提出了基于 GIS 的空间位置评价方法, 将基于 Geodatabase 的空间地理数据库模型引入到城市医疗废物处置设施空间选址评价研究中, 借助其空间数据处理、分析和管理功能, 提高医疗废物设施选址研究的效率和精度.

1 研究方法

1.1 研究区概况

以我国珠江三角洲某发达城市的医疗废物处置为例进行研究, 该市位于珠江三角洲腹地, 地域广阔, 经济发达, 人口较多. 现状医疗废物年产生量 4 000 多 t, 主要污染物产生地为医院和诊所, 目前尚没有集中的医疗废物集中无害化处置设施, 医疗废物隐患极大.

1.2 研究技术路线

首先必须进行医疗废物的污染源现状调查与解

收稿日期: 2005-03-01; 修订日期: 2005-05-28

基金项目: 清华大学环境科学与工程研究院 985 基金项目; 佛山市环境保护局科研基金项目

作者简介: 郭茹 (1978~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为城市复合生态系统、环境规划和管理研究.

* 通讯联系人, E-mail: jhf@tsinghua.edu.cn

析;其次,根据社会经济发展特点以及现状情况,建立医疗废物产生量预测模型,预测远期医疗废物产量;利用空间地理数据库技术,将医疗废物产生源以及预测结果的空间属性数据和非空间属性数据集成起来,构建基于第3代地理数据库模型 Geodatabase 的医疗废物处置设施选址辅助 GIS 系统;然后,利用情景分析方法,生成医疗废物处置设施选址的非

劣可行方案;根据医疗废物需集中处置的特点,建立方案空间位置评价模型进行评价,并利用传统的费用模型进行了分析,最终获得优选方案.医疗废物处置设施空间选址的技术路线流程图见图 1.

具体的医疗废物处置设施空间选址方案生成和评价的流程图见图 2.

1.3 方案生成

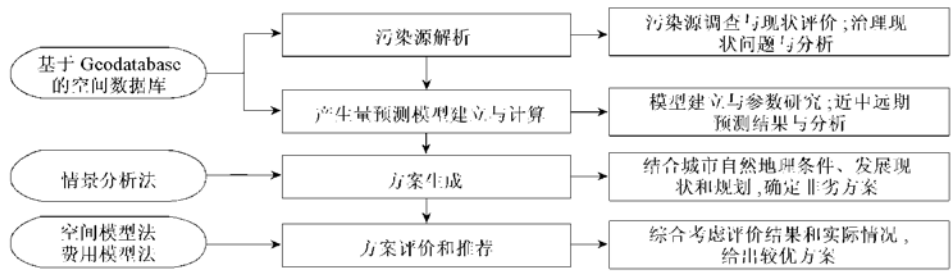


图 1 城市医疗废物处置设施空间选址技术路线流程

Fig. 1 Flow chart of urban medical waste treatment facility site selection method

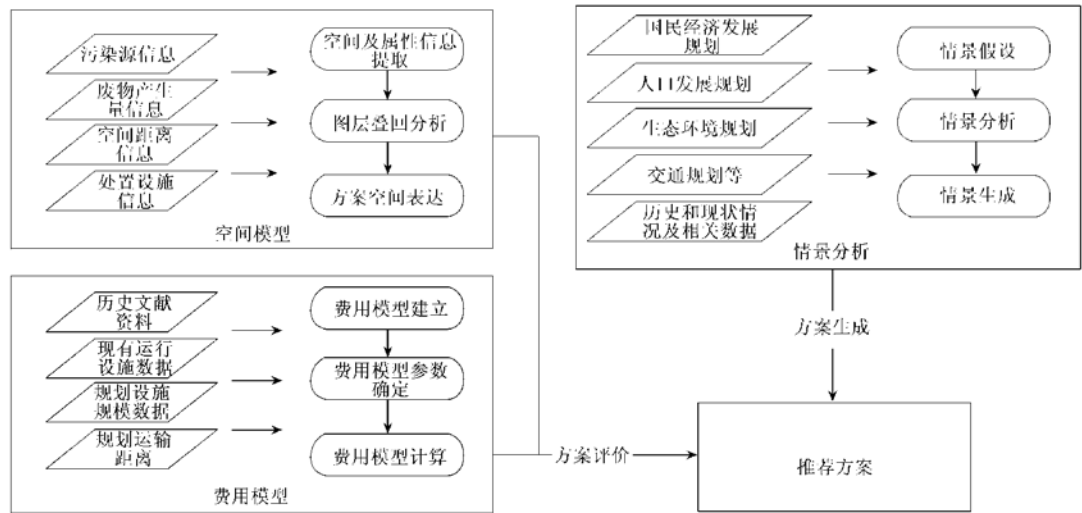


图 2 方案生成和评价流程

Fig. 2 Flowchart of scenario generation and assessment

情景分析 (Scenario Analysis, SA) 方法是就某一主体或某一主题所处的宏观环境进行分析的一种特殊研究方法.情景分析的过程就是通过对环境的研究,识别影响主体或主题发展的外部因素,模拟外部因素可能发展的多种交叉情景,从而分析和预测各种可能前景.本研究中,根据城市社会经济发展现状和趋势,利用数学模型预测出远期的医疗废物总量及空间分布情况.医疗废物属于危险废物,多采用集中处理处置模式;同时为了降低风险,一个地级市

最好设置不超过一个的医疗废物集中处置中心.以预测结果为基础,根据历史及现状数据,结合已有相关规划,例如国民经济发展规划、人口发展规划、生态环境规划、土地利用规划、交通规划等,利用 SA 方法对医疗废物处置设施未来的可能选择地点和导致地点变更的一系列要素进行分析,综合考虑现有市政用地条件、敏感区分布情况、人群接受程度和自然地理条件等因素,生成医疗废物处置设施空间选址的多个非劣情景方案.

1.4 方案空间位置评价模型

地域分异规律的存在造成了生态环境的空间异质性,也导致了不同局部区域的人口数量和人类活动强度的差异.而医疗废物处置设施属于公共基础设施,受人口数量的影响很大.一般而言,在保证医疗废物处置设施安全运行的前提下,人口越多,对医疗废物处置设施的需求程度越高.传统的选址评价大多仅仅采用费用分析,本研究利用吸引力模型(Gravity Model, GM)方法的基本原理,建立了如下空间位置评价模型,从空间布局的角度评价医疗废物处置设施选址的合理性.

$$\text{Index} = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{D_i} \quad (1)$$

式中, Index 为各方案中医疗废物污染防治设施的总吸引力指数; P_i 为各镇人口占全市人口的比例(%); D_i 为各镇到医疗废物污染防治设施的直线距离(km).

Index 值越大,表明该医疗废物污染防治设施方案对邻近地区的吸引力越大,空间位置越合理.

1.5 费用模型

为了和空间位置评价模型进行对比分析,本研究还构建了传统的费用函数模型进行了评价,包括总投资费用函数和年均运行费用函数.

投资费用函数形式如下:

$$C_{\text{总}} = k \times Q \quad (2)$$

式中, $C_{\text{总}}$ 为总投资费用; k 为单位处理量的总投资费用; Q 为医疗废物处理量.

年均运行费用函数形式如(3)式:

$$C_{\text{运行}} = h \times Q + \frac{C_{\text{总}} \times (1 - \alpha)}{n \times (1 + r)^n} \quad (3)$$

式中, $C_{\text{运行}}$ 为年均运行费用; h 为单位处理量的年均运行费用,包括处理费用和收运费用; Q 为医疗废物处理量; α 为资产残值率; r 为贴现率; n 为折旧年限.

当然,由于费用模型单纯考虑费用,评价结果仅仅体现了经济方面的较优选择.

2 基于 Geodatabase 的空间地理数据库构建

硬软件要求: 处理器 Pentium III(或更高); Windows 2000、XP 操作系统, ESRI 公司的 Arcinfo8.x 系列软件, Microsoft 公司的 Access 数据库软件.

数据要求: 1: 250 000 城市电子地图; 社会经济及人口分布数据; 医疗废物污染源空间及属性数据;

现有医疗废物处理处置设施空间及属性数据、规划医疗废物处理设施空间及属性数据等.

数据处理: 数据来源不同,格式也不同,包括 Coverage 格式、shapefile 格式、CAD 格式、Image 文件、Info 表、DBMS 表、Excel 表等.利用 Arcinfo 8.x 系列软件的地理数据库技术,将不同格式的数据导入到 Geodatabase 中,构建基于 GIS 的医疗废物处置设施空间选址支持系统.

数据库系统功能: 除了集成不同来源的数据外,还包括污染源分析、方案生成和表达、方案计算和评价等.例如,该市行政边界及主要医疗废物污染源分布见图 3.该系统集成了多种空间数据和非空间属性数据,大幅度提高研究人员的工作效率.

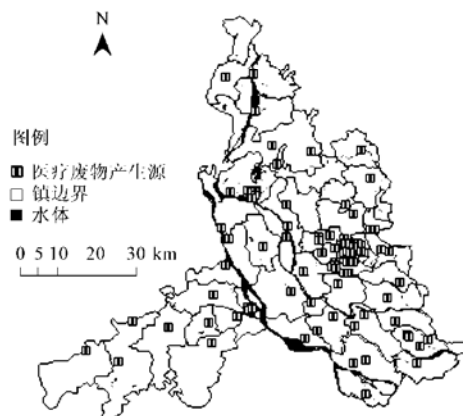


图 3 主要医疗废物污染源分布

Fig. 3 Distribution of main medical waste sources

3 方案生成

生成非劣可行方案的情景假设条件如下:

(1) 以 2020 年远期医疗废物预测量为基础进行情景方案分析.

(2) 假设当时该市的医疗废物均不外运,进行就地焚烧处理.

(3) 由于该市医疗废物产生量不大,一个集中处置中心已经足够,为了降低风险,假设该市仅建设一个集中医疗废物处置中心.

根据该市社会经济发展和数据获取情况,采用增长系数法预测出远期的医疗废物总量及空间分布.该市位于亚热带和亚热带季风气候区,冬夏季主导风向分别为偏北风和偏南风.目前该市北部和南部已有 2 个医疗废物焚烧中心,但是其中一个规模较小,运行成本过高;另一个设施陈旧,运行效果

较差. 针对预测结果, 根据实际情况进行情景分析, 并利用基于 Geodatabase 的空间地理数据库, 将多个图层进行叠加分析, 主要考虑气候风向条件、地质水文条件、市政用地条件、人口密度及分布状况、交通运输状况、污染源分布情况以及现有设施等. 由于医

疗废物属于危险废物, 新选址附近的居民往往对其有一定的抗拒心理, 因此选址时在其他条件类似的情况下, 尽量考虑人口较少且目前已建有医疗废物处理设施的地点. 因此, 得到该市医疗废物处置设施空间选址的 2 个非劣情景方案, 其 GIS 表达图见图 4.



图 4 远期方案(方案 1 和方案 2)
Fig. 4 Future scenarios (scenario 1 and scenario 2)

4 结果与讨论

4.1 方案空间评价结果

以该市按照行政归属划分的 46 个镇作为基本单元, 利用空间位置模型评价对 2 个方案进行评价. 利用 GIS 进行空间统计, 可快速获取各镇到不同方案给出的医疗废物处置中心的距离, 并根据各镇常住人口数据分别计算各镇的基础吸引力指数(见表 1), 加和后得到方案的总吸引力指数.

总地来看, 从空间位置上考虑, 方案 1 对该市各镇的基础吸引力较大, 空间位置上更合理, 可能原因是方案 1 的空间位置更靠近人口密度高的区域. 从各镇的基础吸引力指数可以看出, 方案 1 对于市区、西南等子区域来讲更为合理, 而方案 2 对大良、容桂等子区域来讲更为合理. 当局部发展规划有所调整导致参数变化时, 可以快速重新进行空间评价, 为决策提供参考.

4.2 费用模型评价结果

进行费用模型评价时, 以该市已有医疗废物处置设施的投资运行费用, 参考国内外类似城市的医疗废物处置设施投资运行情况, 确定费用模型参数

并计算. 所用参数见表 2.

表 1 各镇基础吸引力指数						
Table 1 Basic gravity index of each town						
ID	镇名称	距离 (方案 1) /km	距离 (方案 2) /km	人口所 占比重 /%	吸引力 指数 (方案 1)	吸引力 指数 (方案 2)
01	市区	19.62	27.81	20.08	1.02	0.72
02	西南	8.07	49.18	10.56	1.31	0.21
03	桂城	21.40	27.78	6.51	0.30	0.23
04	大良	44.57	12.20	10.72	0.24	0.88
05	石湾	20.25	24.63	3.32	0.16	0.13
06	荷城	28.10	29.89	3.95	0.14	0.13
07	松岗	13.88	40.01	1.77	0.13	0.04
08	乐从	23.58	20.83	2.60	0.11	0.12
09	容桂	51.29	12.46	5.21	0.10	0.42
10	龙江	30.74	13.69	2.49	0.08	0.18
...	...	...	...	...	...	...
合计					5.81	4.99

评价结果见表 3.

费用模型评价结果同样表明, 方案 1 较优, 和空间评价的结果一致. 可能原因是方案 1 收运费用相对较低的缘故.

表 2 费用模型的参数

Table 2 Coefficient of cost model

使用期限/a	固定资产残值率/%	贴现率/%	单位投资费用 $\times 10^4/\text{元}\cdot(\text{t}\cdot\text{d})^{-1}$	距离修正系数	运输费用 $/\text{元}\cdot(\text{t}\cdot\text{km})^{-1}$	年运行管理费用 $/\text{元}\cdot\text{t}^{-1}$
15	3	5.5	150	2.0	10	3 000

表 3 费用模型评价结果

Table 3 Assessment result of cost model

方案	建设规模 $/\text{t}\cdot\text{d}^{-1}$	新建规模投资 $\times 10^4/\text{元}$	年运行费用 $\times 10^4/\text{元}\cdot\text{a}^{-1}$	收运费用 $\times 10^4/\text{元}\cdot\text{a}^{-1}$	年均总费用 $\times 10^4/\text{元}\cdot\text{a}^{-1}$
方案 1	20	3 000.0	201.0	303.0	504.0
方案 2	20	3 000.0	201.0	464.7	544.4

4.3 讨论

以往的医疗废物处置设施选址研究仅仅从全市或各区级别的医疗废物产生情况进行分析,而本研究以小尺度的镇为基本单元进行了空间分析评价,并利用基于 Geodatabase 的空间地理数据库实现了该方法.传统的费用分析结果和空间评价结果一致,在一定程度上说明了选址的合理性.进一步对该市各镇级的医疗废物产生量的绝对分布情况以及单位

面积医疗废物分布情况(即密度分布情况)的分析结果(图 5)表明,该市的医疗废物主要分布在中部和东南部,而单位面积的医疗废物分布情况,则是中部最高,达到了 $191.95\text{ kg}/(\text{d}\cdot\text{km}^2)$,远远高于各镇的平均值 $16.40\text{ kg}/(\text{d}\cdot\text{km}^2)$.方案 1 中的医疗废物处置设施选址更靠近中部,与医疗废物产生量及密度的分布具有一定的空间相关性.因此,根据空间评价模型得出的方案 1 较优的结论具有一定的合理可靠性.

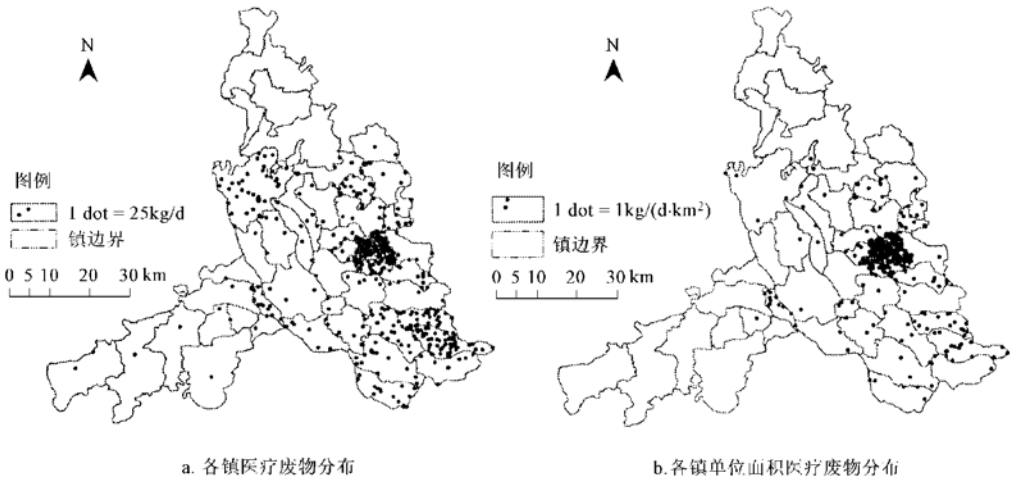


图 5 各镇医疗废物产生量分布和单位面积医疗废物产生量分布
Fig. 5 Distribution of medical waste quantity and density

本研究考虑了地域分异规律造成的空间异质性对于医疗废物处置设施选址的影响,并利用人口数量差异这一空间异质性形成的指示变量进行方案评价,得到了较为合理的方案评价结果.同时,经济费用计算结果虽然仅仅体现了经济方面的较优选择,但是在一定程度上也表明了空间评价方法的合理性.需要指出的是,这仅仅是对单一集中处理设施的

评价结果,对于空间位置模型和费用模型是否适用于多个设施选址评价,需要进一步深入研究.此外,基于 GIS 的医疗废物处置设施选址研究对于数据要求较高,想要进行小尺度水平的研究,必须获取足够详细的污染源分布资料和相关的社会经济数据,并且集成到 Geodatabase 中,才能有效提高研究效率和精度.

5 结论

医疗废物处置设施的空间选址研究是规划的核心问题之一,本研究提出的评价方法综合考虑了空间位置对医疗废物处置设施选址的影响,并将研究尺度细化到镇级单元,考虑各个局部区域对于方案的影响.同时,应用情景分析法生成了2个非劣情景方案进行评价,并构建了基于Geodatabase的空间地理数据库系统,进行数据的空间分析,更为深入且直观的辅助选址研究,提高了研究的效率和精确性.研究还构建了传统的费用模型进行对比性分析,其结果和空间评价结果一致.本研究方法也适用于其他类似的单一设施空间选址研究,具有一定的通用性.

参考文献:

- [1] 钟声浩,王强,邓华龙.上海市医疗废物处置与管理探讨[J],上海环境科学,2002,21(8): 485~ 512.
- [2] 蒲敏,徐洋,邓华龙.上海市医疗废物控制系统建设设想[J].上海环境科学,2003,22(12): 1027~ 1030.
- [3] 刘治猛,蒋欣,刘煜平,等.东莞市医疗废物和污水污染及其治理对策[J].环境污染与防治,2003,4(8): 27~ 30.
- [4] Aspinall R, Pearson D. Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: Linking landscape ecology, environmental modelling and GIS [J]. Journal of Environmental Management, 2000, 59(4): 299~ 319.
- [5] Dai F C, Lee C F, Zhang X H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study [J]. Engineering Geology, 2001, 61(4): 257~ 271.
- [6] Toshihiro Okubo. The border effect in the Japanese market-a Gravity Model analysis[J]. J. Japanese Int. Economies, 2004, 18: 1~ 11.
- [7] Hernández Julio, García Lorenzo, Ayuga Francisco. Assessment of the visual impact made on the landscape by new buildings: a methodology for site selection[J]. Landscape and Urban Planning, 2004, 68(1): 15~ 28.
- [8] 邵芳,王强,赵由才.国内医疗废物处置与管理探讨[J].重庆环境科学,2001,23(5): 53~ 56.
- [9] 商惠英,贾华清.医疗垃圾的现状 & 处理对策[J].环境污染和防治,2002,24(5): 312~ 313.
- [10] 陈昆柏,高全喜,俞中.医疗固体废物集中处置的探索[J].环境科学研究,2002,15(2): 63~ 64.
- [11] 黄本生,李晓红,王里奥,等.重庆市三峡库区医疗垃圾现状及无害化处理分析[J].重庆大学学报,2003,26(1): 96~ 100.