

文章编号: 1008-2786-(2018)4-628-16

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000359

村镇生活垃圾低成本收运系统空间布局方法研究

黄勇^{1,2}, 齐童¹, 石亚灵¹, 万丹³, 张四朋¹

(1. 重庆大学 建筑城规学院, 重庆 400030; 2. 重庆大学 山地城镇建设新技术教育部重点实验室, 重庆 400030;

3. 重庆大学 规划设计研究院有限公司, 重庆 400030)

摘 要: 为进一步降低占村镇生活垃圾处置总费用 70% 的收运系统运行成本, 缓解村镇生活垃圾“处理贵、处理难”的现实问题, 以影响村镇生活垃圾收运系统运行成本的关键要素“设施空间布局”为研究对象, 运用复杂网络分析方法刻画村镇生活垃圾收运系统运行机理, 构建有向加权复杂网络模型及“成本”评价分析指标体系, 测量收运系统复杂网络整体结构与个体特征。挖掘“转运站”或“压缩站”控制收运系统成本总量的运行机理, 量化成本构成特征并识别出控制收运系统运行成本的重要设施以及空间布局形式; 提出“镇转运站”或“压缩站”应布局在所服务区域中心位置且减少“跨层级”收运的收运系统层级优化原则以及应以“高节点影响力-高布局成本敏感度”类型的重点设施布局优化原则; 提出适应不同村镇的收运系统“成本优先型”与“环境优先型”布局模式。为构建低成本生活垃圾收运系统规划建设提供科学方法。

关键词: 村镇; 生活垃圾; 收运系统; 复杂网络; 低成本空间布局

中图分类号: TU984.11+5

文献标志码: A

在我国, 49.7%^① 的人口聚居于乡村地区。随着村镇人均经济水平与生活质量的提高, 生活垃圾年产生总量已超过 3 亿 t/a^[1,2], 并以每年 8%~10% 的速度增长^[3]。自 2008 年国家设立农村环境保护专项资金, 截至 2017 年累计投入 435 亿元^②, 但仍有近 1/3 的村镇垃圾随意堆放^[4], “垃圾围村”现象依然凸显。究其根本, 处理成本高是制约村镇生活垃圾处理的关键因素, 村镇生活垃圾处理低成本研究方法与管理模式能够有效促进实现“减量化、资源化”的目标。

村镇环卫体系作为村镇生活垃圾处理的重要物

质承载系统, 包括清扫保洁、收集转运、处理处置、综合利用和环卫管理五大系统。收集转运系统作为垃圾产地与终端处理地之间的纽带, 其运行费用占垃圾处置总费用的 60%~70%^[5], 低成本收运系统建设对于降低生活垃圾处理成本, 提高处理效率至关重要。针对收运系统的优化研究起源于城市^[6,7], 并逐渐扩展至村镇地区, 研究的主要内容包
括收运线路优化^[8-18] 和设施选址布局优化^[19-24] 两个方面。多数研究认为, 选择一条合理的收运线路^[25,26] 或通过优化设施布局来优化收运系统, 对于削减生活垃圾处理开支, 最大限度地提高生活垃圾

收稿日期 (Received date): 2018-04-27; **改回日期** (Accepted date): 2018-06-18

基金项目 (Foundation item): 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项 (CSTC2016shmszx0504); 国家“十二五”科技支撑计划课题 (2013BAJ13B07); 重庆大学中央高校基本科研业务费研究生创新创业项目 (106112017CDJXSY0002); 重庆市研究生科研创新实践项目 (CYB17028)。[Chongqing Municipal Special Project on Scientific & Technological Innovation of Social Undertakings & People's Livelihood Security (CSTC2016shmszx0504); National Science & Technology Pillar Program during the 12th Five-Year Plan Period (2013BAJ13B07); Project NO. the Fundamental Research Funds for the Central Universities (106112017CDJXSY0002); Chongqing Municipal Graduate Research & Innovation Project (CYB17028)]

作者简介 (Biography): 黄勇 (1976-), 男, 重庆, 博士, 教授, 从事城乡规划设计及复杂网络分析技术研究。[HUANG Yong (1976-), male, Ph. D., professor, research on urban and rural planning and complex network analysis] E-mail: Hyong@cqu.edu.cn

① 根据国家统计局第六次人口普查数据, 全国人口 1332810869 (人), 其中乡村地区人口 662805323 (人), 占比为 49.7%。

② 根据中华人民共和国环境保护部统计数据, 自 2008 年国家设立农村环境保护专项资金以来, 累积投入资金 435 亿元。

处理的人力与设施高效运行具有重要作用,降低运行成本是收运系统发挥效能的关键。随着计算机技术的发展,研究方法日趋丰富,重心法^[27]、AHP(层次分析法)^[19, 27]、灰色模型分析法、单指数平滑法、线性回归分析法^[28]、节约法^[13]、最短路径搜索法^[12]、圆心域法^[22]、等距离物流法^[16]、中心转移算法^[23]、两阶段 Tabu 法^[29]等算式算法被应用于收运系统数学模型的构建,通过引入环境、社会影响^[30]等要素实现模型的真实刻画与优化,并利用 GIS 技术^[10-12]、物联网技术^[31]进行可视化分析。可以发现,目前的量化研究方法对于单条收运线路或部分子系统的刻画与成本优化已比较成熟,但从收运系统整体运行机理的视角进行成本特征挖掘并进行量化分析还较为薄弱。伴随村镇生活垃圾处理资源化、减量化发展,生活垃圾等废旧、弃物处置活动,以及由此产生的收集、运输等物流活动使得收运系统发展呈现网络化、复杂化趋势^[32]。

目前对生活垃圾收运系统的研究源于城市并逐渐向乡村地区延伸,但由于村镇地区人口密度^[33]、道路交通^[34]、聚居形式、垃圾组分等方面与城市地区差异较大,开展针对村镇地区的低成本收运系统布局方法十分重要;另一方面,目前研究内容主要集中于生活垃圾收运线路或收运设施布局优化,研究方法呈现定量分析的趋势,不断改进的数学模型与算式算法被应用于收运系统模型构建,取得了丰富的研究成果。但是,对于单条线路或子系统的成本或总路径最优能够较好地实现,尚缺乏对于收运系统整体成本构成特征与机理以及如何实现总体运行成本或路径最优研究。复杂网络(Complex Network)^[35-37]作为研究具有复杂特性系统的工具,被广泛应用于城镇建设用地空间结构^[38]、基础设施^[39-42]等现实系统的抽象与刻画,通过挖掘复杂系统的运行机理,实现对现实系统的量化评价与优化。本文将复杂网络分析方法应用于收运系统的结构刻画与分析,挖掘村镇垃圾收运系统成本构成内在机制,构建一种适合村镇地区生活垃圾低成本收运系统的研究方法,并提出规划优化策略。

1 方法

1.1 整体思路

1.1.1 生活垃圾收运系统运行机理

“生活垃圾”由“产生源—垃圾收集点—转运

站—处理终端”的流动过程反映了收运系统的运行机理(图1)。

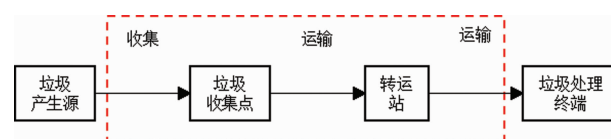


图1 生活垃圾收运系统运行机理

Fig. 1 Operation mechanism of domestic garbage collection and transportation system

资料来源:作者自绘

支撑这一运行机理的成本主要包括基建费用、人员工资、设施运行费用等固定费用和运输成本费用、设施维修费用等可变费用^[27]两种。运输成本等可变费用对减少收运系统的成本总量具有较高的贡献率,而可变费用主要取决于收运系统设施的布局与收运线路。合理的设施布局与收运线路长度能够有效地降低运输成本,进而达到收运系统总成本优化的目的。

以成本最优为目标的生活垃圾收运系统研究,主要选取总路径长度或时间作为评价媒介^[43],总路径长度能够反映设施之间的空间距离属性,但现实系统中垃圾的收运会受到道路等级、路况条件、道路拥堵情况等因素的影响,单纯的路径长度难以真实刻画这种影响,有必要将实际路径长度转化为运行时间,并将对社会与环境影响进行加权处理,得到能够统一量度的时间当量。不同的时间当量能真实地反映不同村镇收运系统综合运行情况以及所对应的成本差异,因此,本文选取设施之间的运行时间作为评价媒介反映运输成本等可变费用之间的差异。综上,本文以村镇生活垃圾收运系统为研究对象,采用复杂网络分析方法,刻画生活垃圾收运系统的运行机理;构建成本评价指标,明确收运系统成本构成特征,辨别控制收运系统成本的设施类型与布局形式;提出收运系统布局模式价值判断与针对性的规划指引(图2)。从而为降低村镇生活垃圾收运系统的运行成本,缓解村镇生活垃圾“处理贵、处理难”问题构建一种科学方法。

1.1.2 技术路线

整体研究思路主要分为四个部分:第一步,通过对现状收运系统进行调研,确定垃圾收集点、转运站、处理厂和填埋场等设施的地理空间位置与它们间的实际运行距离与时间;第二步,基于收运系统的

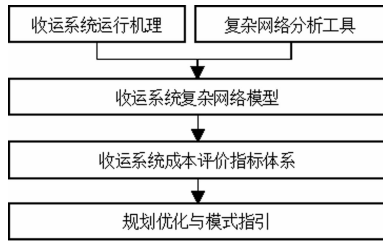


图2 整体研究思路
Fig. 2 Overall research ideas

运行机理与现状的调研数据,构建收运系统复杂网络模型;第三步,从网络整体结构与个体特征两方面构建指标体系,分别计算成本强度分布、节点成本影响力、节点布局成本敏感度;第四步,通过语义转换反馈到现实收运系统,提出生活垃圾收运系统的优化策略与规划布局模式(图3)。

1.2 研究靶区与数据来源

1.2.1 研究靶区

万州区地处长江上游地区,重庆东北部。辖区共有 29 个镇、12 个乡以及 11 个街道,本文中村镇生活垃圾收运系统研究范围包括 29 个镇、12 个乡以及所辖村庄。

1.2.2 数据来源

研究数据来源于研究靶区生活垃圾收运处置系统规划文本、现场调研走访与 Google Earth 地理空间坐标数据库。通过规划文本提炼收运系统运行层级关系、服务范围、设施种类与数量;通过现场调研走访主要获取转运车辆运行路线、路线实际长度、路况、运行时间、运行频次等;通过 Google Earth 地理空间坐标数据库获取收运处置设施空间坐标并进行纠偏处理。

根据万州区《镇乡生活垃圾收运处置系统规划》规划内容,万州区生活垃圾收运系统共设置生活垃圾收集点 512 个,垃圾转运站 34 个,压缩站 9 个,处置场 3 个(图 4)。

1.3 复杂网络的语义模型与指标体系构建

1.3.1 语义模型构建

复杂网络模型构建需要确定网络的“节点”和“边”,根据生活垃圾收运系统运行机理,“村收集点”、“转运站”、“压缩站”^①以及“处置场”是收运系统运行基础支撑,可视为复杂网络的“节点”。现实收运系统中各设施通过收运线路产生联系,抽象到

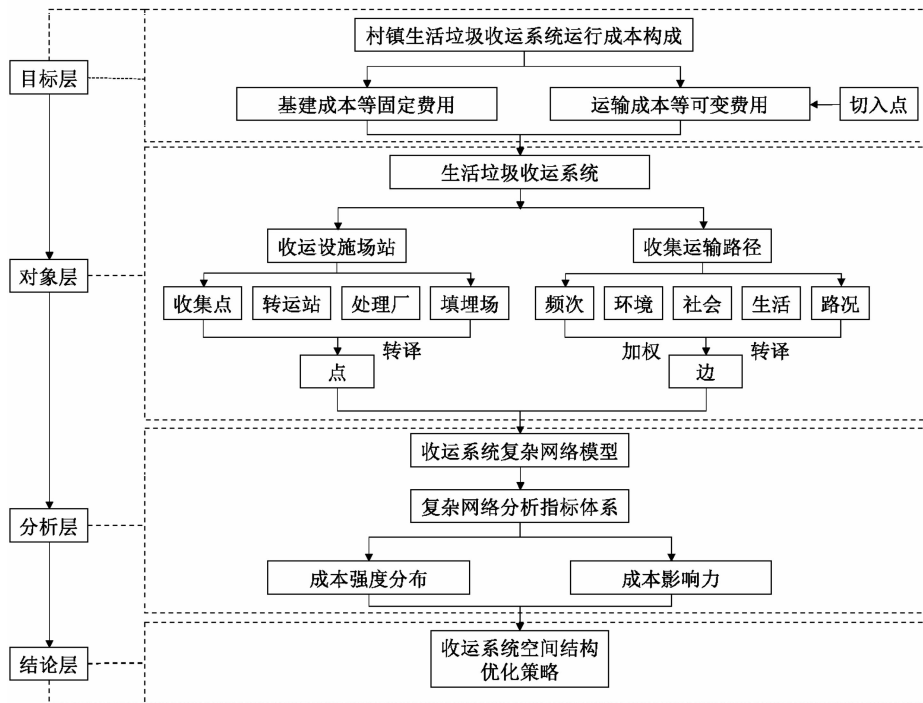


图3 技术路线

Fig. 3 Technical route

① 依据《生活垃圾转运站技术规范》(CJJ 47-2006)“转运站”又分为“大、中、小”三个层级,本文根据《万州区镇乡生活垃圾收运处置系统规划》,“转运站”分为“镇转运站”与“压缩站”两类。

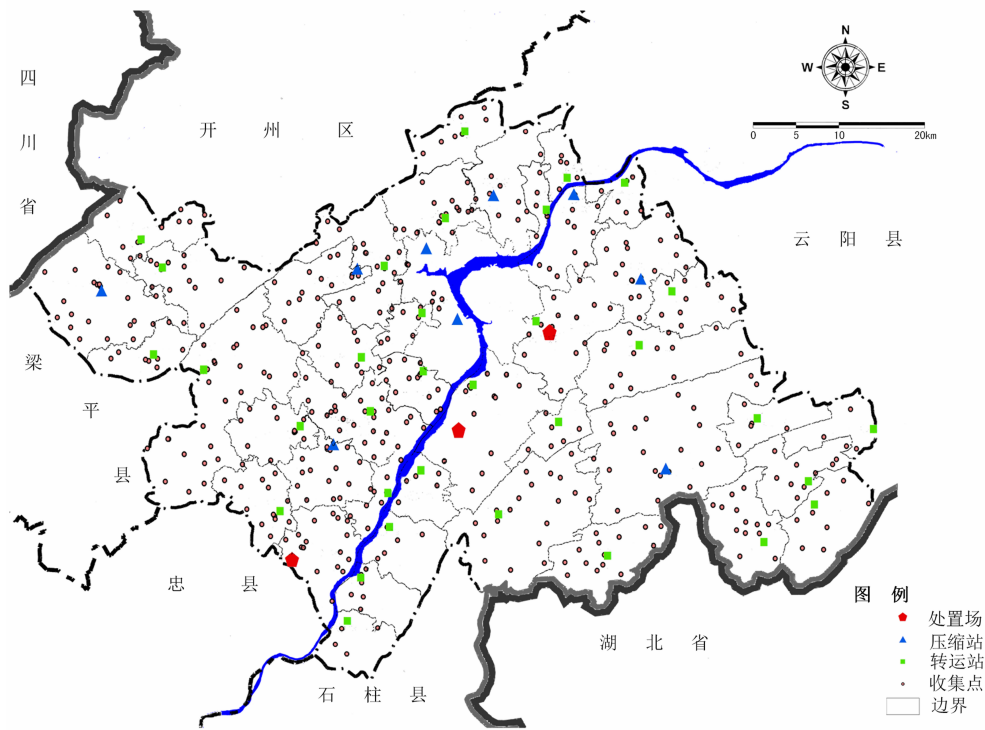


图4 万州区生活垃圾收运系统设施空间布局图

Fig.4 Space Layout of Wenzhou district domestic waste collection and transportation system facilities

网络语境下即为模型的“边”,根据整体研究思路,设施之间的联系应由路径长度转化为运行时间,并进行相关要素加权处理,得到统一的时间当量,用以体现复杂网络中“边”的权重。

1.3.2 收运系统综合运行时间

在运行基础时间的基础上,利用噪声影响权重、大气污染影响权重及交通状况权重对实际运行时间进行修正,得到加权后的综合运行时间。其中,噪声(α_1)与大气污染影响(α_2)权重可根据收运路线经过的村镇功能分区进行确定^[44],主要包括住区、道路两侧等区域(表1)。

表1 噪声与大气污染影响权重

Tab.1 Noise and air pollution impact weight

| 功能分区类别 | 噪声影响权重 | 大气污染影响权重 |
|--------|--------|----------|
| 住区 | 1 | 1 |
| 道路两侧地区 | 0.79 | 0.83 |
| 工业区 | 0.85 | 0.58 |

资料来源:作者整理

交通状况影响权重(α_2),根据访谈中关于道路拥堵的描述进行确定,将交通不拥堵的路段定义为

1,其他语气依次升高(表2)。

表2 交通状况影响权重

Tab.2 Traffic condition impact weight

| 语气描述 | 影响权重 |
|------|------|
| 拥堵 | 1.5 |
| 较为拥堵 | 1.2 |
| 不拥堵 | 1 |

资料来源:作者整理

综上,计算公式为^[15]:

$$S = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 S_j \quad (1)$$

式(1)中, S 为综合运行时间, S_j 为实际运行时间, α_1 为噪声影响权重, α_2 为大气污染权重, α_3 为交通状况影响权重。

1.3.3 收运系统成本评价指标体系构建

本文从宏观和微观两个方面构建指标体系(图5)。宏观层面构建成本强度分布指标,测度收运系统网络整体成本构成特征;微观层面构建“节点成本影响力”和“节点布局成本敏感度”两项指标,分别测度收运系统网络模型中节点所能控制成本总量的能力,以及网络节点布局模式对于成本的

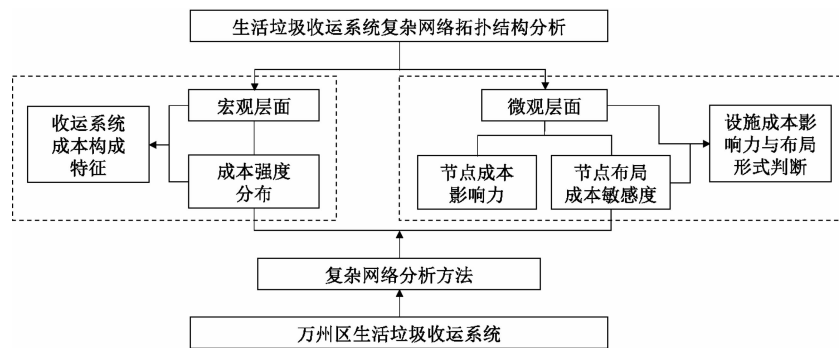


图5 收运系统复杂网络成本评价指标体系

Fig.5 Complex network cost evaluation index system of collection and transportation system

影响程度;同时进行两项指标的拟合分析,进一步判别控制收运系统成本总量的设施点。

1.3.3.1 成本强度分布

成本强度分布(Cost Intensity Distribution, CID)用以测量系统中不同层级的成本分布总量,转换到复杂网络模型中,即为某一层级所拥有的“边”的数量以及“边”所控制的权重值,数值越大代表这一层级成本总量越大,在收运系统中所占比例与规模越大。生活垃圾收运系统主要存在“收集点-转运站”、“转运站-处置场”等层级结构,分别对应着不同的成本分布总量(图6)。

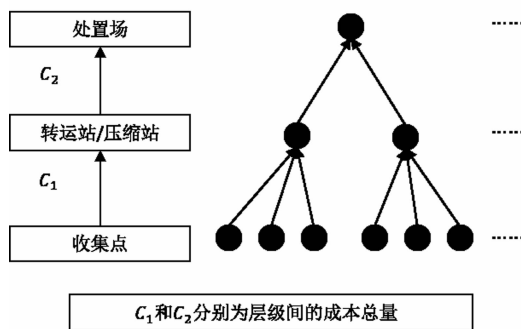


图6 收运系统层级结构成本示意图

Fig.6 Schematic diagram of cost hierarchy of collection and transportation system

收运系统某一层级成本强度分布 CID_i 定义如下:

$$CID_i = \sum_{j \in N_i} W_{ij_1} + W_{ij_2} + \cdots + W_{ij_n} \quad (2)$$

式(2)中, N_i 为 i 的相同层级点的集合, W_{ij} 为层级 i 和 j 层级之间的边权重, 成本强度 CID_i 是某一层级权重总和。

1.3.3.2 节点成本影响力

度数中心度是测量节点在复杂网络模型中重要

程度的指标, 度值越大表示节点在网络中重要程度越高。在有向网络中, 节点的中心度可以分为入度和出度^[40]。度数中心度测度了有向网络中节点的重要性, 但却不能表征网络中与节点相连接的边的差异性与不均衡性, 通过引入边权重概念, 更加真实地反映现实系统。

对于有向加权网络的节点重要性指标, 不同学者进行了不同的深化与扩展, 本文在现有研究^[45, 46]基础上, 将度数中心度算法进行加权优化得到“节点成本影响力”(Node Cost Impact, NCI), 并应用于生活垃圾收运系统抽象的有向加权网络中。计算公式原理为: 在一个具有 N 个节点的有向加权复杂网络中, 节点 i 与 j_1, j_2, \dots, j_n 相连接, 既存在流入也存在流出。由于生活垃圾收运系统存在较为明显的层级结构, 流入与流出之和能准确地反映节点所能影响的成本量以及在系统中的层级地位。若网络中某一节点成本影响力数值大, 表示节点在网络中处于核心并控制网络的成本总量, 对应到现实系统为设施场站的空间位置布局决定整个收运系统的运行成本, 计算公式如下:

$$C_{NCI(i)} = \frac{\sum_{i \neq j}^n w_{in(ij)} + \sum_{i \neq j}^n w_{out(ij)}}{\max(\sum_{i \neq j}^n w_{in(ij)} + \sum_{i \neq j}^n w_{out(ij)})} \quad (3)$$

式(3)中, $C_{NCI(i)}$ 为成本影响力数值; $\sum_{i \neq j}^n w_{in(ij)}$ 为入强度总和, 即节点 i 接收的边权重总和; $\sum_{i \neq j}^n w_{out(ij)}$ 为出强度总和, 即节点 i 发出的边的权重总和。

1.3.3.3 节点布局成本敏感度

为进一步测度设施空间布局结构对于层级成本的影响程度, 构建“节点布局成本敏感度”(Node layout Cost Sensitivity, NCS) 指标。其中, 设施布局

对成本敏感度低指改变设施布局,系统成本总量不变或变化很小(图7);敏感度高指改变设施布局,系统成本总量出现明显变化(图8)。

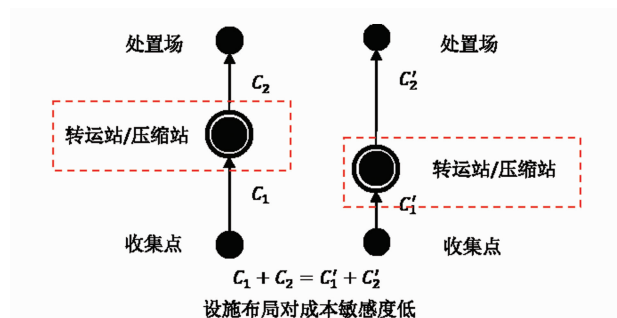


图7 节点布局成本低敏感度示意图

Fig. 7 Schematic diagram of cost low sensitivity of node layout

“成本敏感度”计算网络中所有节点入强度与出强度的比值,用以反映与节点相联系的入强度与出强度影响力大小,转译到现实系统即为由设施的布局而产生成本类型处于主要影响地位以及影响程度大小。计算公式如下:

$$C_{NCS_i} = \frac{\sum_{i \neq j}^n w_{in(ij)}}{\sum_{i \neq j}^n w_{out(ij)}} \quad (4)$$

式(4)中, C_{NCS_i} 为入强度与出强度的比值, $0 < C_{NCS_i} < 1$ 代表节点现状布局发出成本较高, $C_{NCS_i} > 1$ 代表现状节点布局接收成本较高; $\sum_{i \neq j}^n w_{in(ij)}$ 为入强度总和,即为接收的边权重总和; $\sum_{i \neq j}^n w_{out(ij)}$ 为出强度总和,即为从节点发出的边的权重总和。

2 计算与分析

2.1 复杂网络模型构建与指标计算

2.1.1 模型构建

根据生活垃圾收运系统运行机理进行语义转

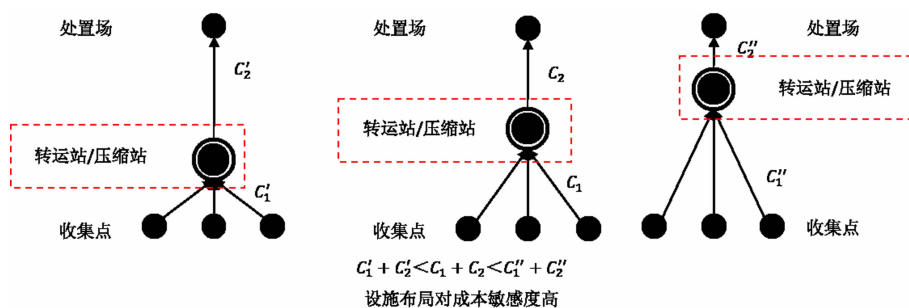


图8 节点布局成本高敏感度示意图

Fig. 8 Schematic diagram of cost high sensitivity of node layout

换,在 Pajek 软件平台上构建现状收运系统有向加权复杂网络模型,网络拓扑结构形态图(图9)。据图可知,研究靶区现状收运系统由以“万州区生活垃圾焚烧厂”为主和“武陵镇填埋场”为主的两个复杂网络构成。其中,以万州区生活垃圾焚烧厂为核心的收运系统包括“村收集点—镇转运站”“镇转运站—压缩站”和“压缩站—处置场”三个层级结构;武陵镇填埋场由于只服务于武陵镇和瀘渡镇,网络规模较小,包括“村收集点—转运站”和“转运站—处置场”两个层级结构。为进一步可视化表达,通过节点携带的地理空间坐标,将生活垃圾收运系统网络转化到地理空间上得到布局结构图(图10)。

2.1.2 计算结果

2.1.2.1 成本强度分布

根据公式(2)计算可得,以“万州区生活垃圾焚烧厂”为核心的收运系统“收集点—镇转运站”成本强度分布数值为6202.5;“镇转运站—压缩站”数值为2813;“压缩站—垃圾焚烧厂”数值为1385;“垃圾焚烧厂—填埋场”数值为55;以“武陵镇填埋场”为核心的生活垃圾收运系统“收集点—镇转运站”成本强度分布数值为809,“镇转运站—处置场”数值为77(表3)。

表3 现状收运系统层级成本总量

| 层级关系 | 以“生活垃圾焚烧厂”为核心的收运系统成本总量 | 层级关系 | 以“填埋场”为核心的收运系统成本总量 |
|-----------|------------------------|-----------|--------------------|
| “收集点—转运站” | 6202.5 | “收集点—转运站” | 908 |
| “转运站—压缩站” | 2813 | “转运站—填埋场” | 77 |
| “压缩站—焚烧厂” | 1385 | — | — |
| “焚烧厂—填埋场” | 55 | — | — |

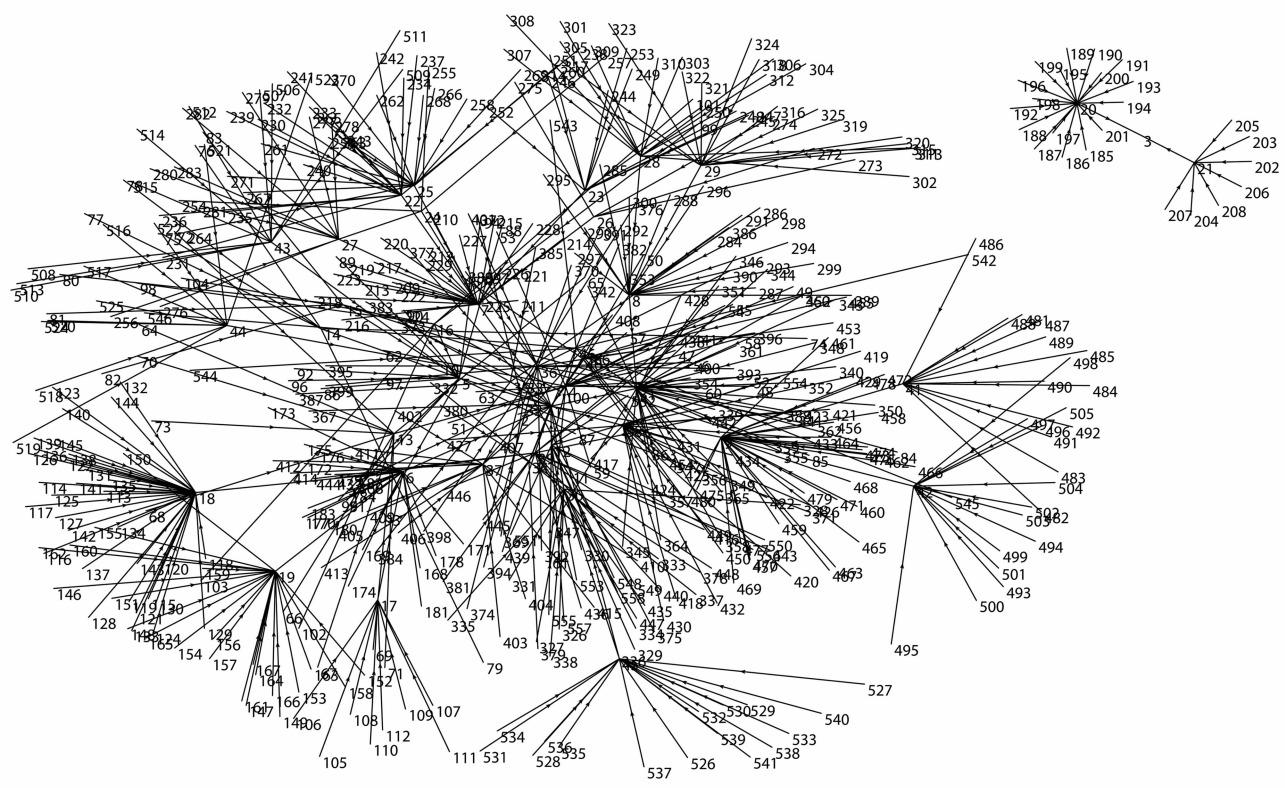


图9 万州区生活垃圾收运系统复杂网络模型

Fig. 9 Complex network model of living garbage collection and transportation system at Wanzhou District

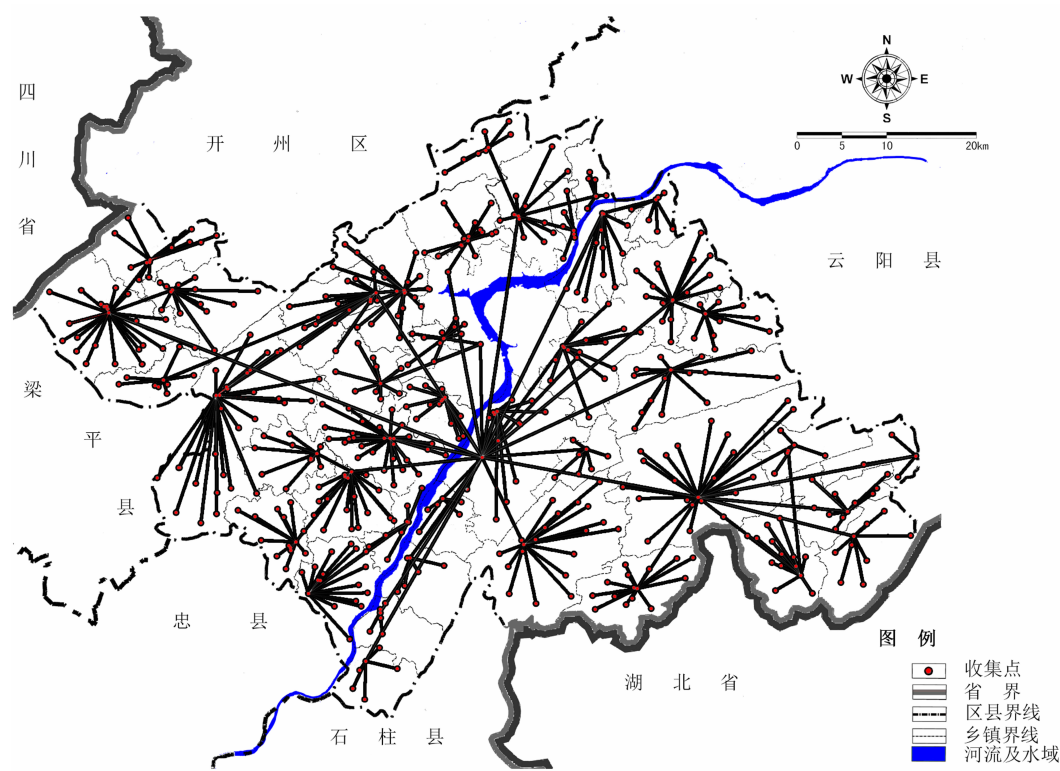


图10 万州区生活垃圾收运系统复杂网络地理空间结构图

Fig. 10 Geospatial Structure of complex network model of living garbage collection and transportation system at Wanzhou District

2.1.2.2 节点成本影响力

根据公式(3)计算,可得万州区生活垃圾收运系统设施“节点成本影响力”^①数值(表4)。

2.1.2.3 节点布局成本敏感度

根据公式(4)计算,可得万州区生活垃圾收运系统设施“节点布局成本敏感度”^②数值(表5)。

2.2 成本结构分析

2.2.1 收运系统成本呈现“金字塔”结构

通过对以焚烧厂为核心的收运系统“成本强度分布”计算结果进一步分析可以发现,收运系统成本呈现“金字塔”结构,“收集点-转运站”成本总量规模最大,“压缩站-处置场”成本规模最小(图11)。

2.2.2 “转运站”与“压缩站”布局形式影响收运系统成本总量的函数关系

根据“节点成本影响力”计算结果分析可得,现状生活垃圾收运系统中成本影响力数值较高的设施集中于“镇转运站”与“压缩站”;根据“节点布局成本敏感度”指标原理与计算结果的分析可以得到设施空间布局属性与类型。以“节点布局成本敏感度”和“节点成本影响力”数值作为坐标轴的 X 、 Y 值,构建“设施空间布局对收运系统成本总量影响”的数学函数(图12(a)、(b))。

其中,“转运站空间布局影响收运系统成本总量函数关系”公式为 $Y=0.09x^2+50.3+95$,回归系

表4 节点成本影响力指标计算数值(部分)

Tab.4 Calculated values of node cost impact indicator (partial)

| 设施名称 | 节点成本影响力数值范围 | 排位 | 设施类型 |
|--|-------------|-------|-----------------|
| 万州垃圾焚、烧厂、龙驹镇压缩站、分水镇转运站、余家镇压缩站、走马镇转运站、甘宁镇转运站 | 1~0.416 | 1~6 | 垃圾焚烧厂/压缩站/转运站 |
| 瀘渡镇转运站、高粱镇转运站、恒合土家族乡转运站、李河镇压缩站、龙沙镇压缩站、武陵镇转运站、长滩镇转运站、熊家镇压缩站、白羊镇压缩站、长岭镇转运站、太龙镇压缩站、后山镇转运站、新田镇转运站、白土镇转运站、罗田镇转运站、高峰镇转运站、普子乡转运站、天城镇转运站 | 0.382~0.130 | 7~24 | 转运站/压缩站 |
| 郭村镇转运站、地宝土家族乡转运站、响水镇转运站、弹子镇转运站、九池乡转运站、孙家镇转运站、新乡镇转运站、柱山乡转运站、长坪乡转运站、万泉路压缩站、茨竹乡转运站、太安镇转运站、燕山乡转运站、铁峰乡转运站、黄柏乡转运站、溪口乡转运站、天高镇压缩站、梨树乡转运站、武陵填埋场、小周镇转运站、大周镇转运站 | 0.096~0.039 | 25~45 | 转运站/压缩站/收集点/处置场 |

表5 转运站与压缩站布局成本敏感度数值

Tab.5 Sensitivity values of layout cost of transfer station and compression station

| 设施类型 | 数值范围 | 排位 |
|---|-------------|-------|
| 高粱镇转运站、分水镇转运站、万州区生活垃圾焚烧厂、武陵镇转运站、新田镇转运站、响水镇转运站、走马镇转运站、太安镇转运站、龙驹镇压缩站 | 52.33~10.99 | 1~9 |
| 弹子镇转运站、郭村镇转运站、瀘渡镇转运站、天城镇转运站、后山镇转运站、甘宁镇转运站、恒合土家族乡转运站、长岭镇转运站、九池乡转运站、罗田镇转运站、余家镇压缩站、黄柏乡转运站、李河镇压缩站、溪口乡转运站、龙沙镇压缩站、熊家镇压缩站、白羊镇压缩站、高峰镇转运站、太龙镇压缩站、孙家镇转运站、小周镇转运站、大周镇转运站、柱山乡转运站、万全路压缩站、铁峰乡转运站、茨竹乡转运站、普子乡转运站 | 9.44~1.11 | 10~38 |
| 地宝土家族乡转运站、梨树乡转运站、燕山乡转运站、新乡镇转运站、长坪乡转运站、天高路压缩站 | 0.97~0.33 | 39~44 |

① “节点成本影响力”指标共计算设施点558个,根据计算结果分析可得 $C_{NCl(n_i)} \leq 0.039$ 的均为“村收集点”,所以在正文中未与体现。

② “节点布局成本敏感度”指标共计算设施点558个,根据计算结果分析可得 $C_{NLI} < 0.33$ 的均为“村收集点”,所以在正文中未与体现。

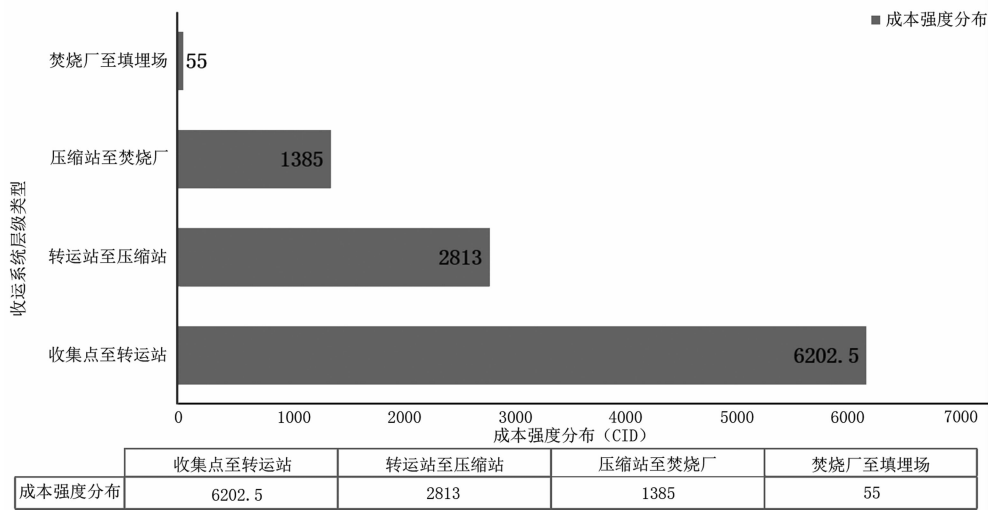


图 11 万州区生活垃圾收运系统成本结构

Fig. 11 Cost structure of Living garbage collection and transportation system at Wanzhou District

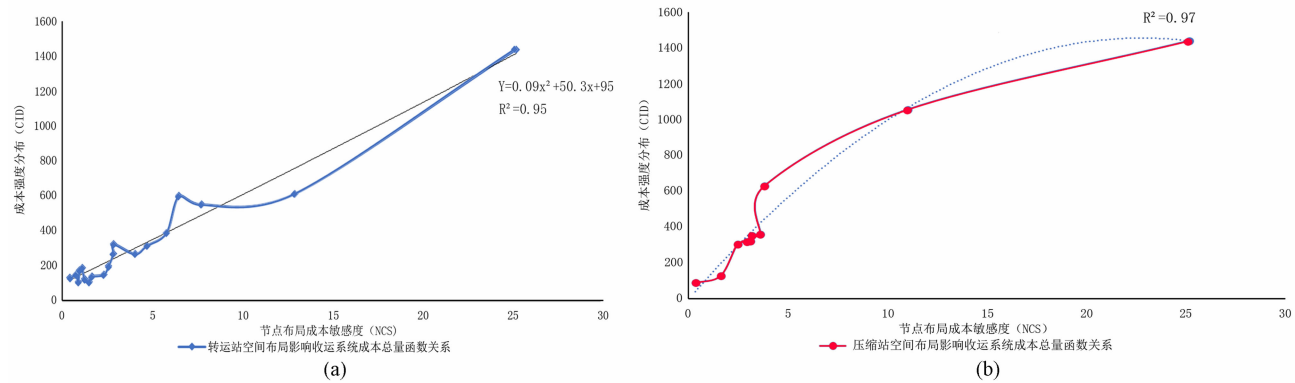


图 12 “转运站”与“压缩站”空间布局影响收运系统成本总量函数关系

Fig. 12 The functional relationship between the spatial layout of “transportation and compression station” and the total cost of a collection and transportation system

数(R^2)为0.95;“压缩站空间布局影响收运系统成本总量函数关系”公式为 $Y = -2.8x^2 + 128x - 1.4$,回归系数(R^2)为0.97。可以发现,随着设施空间布局的变化,系统成本总量呈现正相关的基本特征,且“转运站”或“压缩站”距离收集点越远,收运系统运行成本总量增加越明显。

2.2.3 “跨层级”收运导致收运系统运行成本总量增加

将“转运站空间布局影响收运系统成本总量函数关系”与“压缩站空间布局影响收运系统成本总量函数关系”进行拟合分析(图 13),可以发现分水镇、走马镇、长滩镇等部分“转运站”布局导致成本总量超过压缩站的成本总量,根据“节点成本影响力”指标的计算原理,“转运站”影响力应低于“压缩

站”,将这类特殊情况反馈到现实系统中进行分析发现分水镇、走马镇等转运站直接与“万州区生活垃圾焚烧厂”联系,没有经过“压缩站”的“二次转运”,即发生“跨层级”收运行为,表明生活垃圾在发生“跨层级”收运的情况下,收运系统运行成本高于不跨层级收运成本。

2.2.4 “转运站”或“压缩站”布局在所辖区域中心位置有利于降低收运系统运行成本

根据“节点布局成本敏感度”计算结果分析可得,现状“镇转运站”与“压缩站”空间布局导致“接收成本”高于“发出成本”,占比达到82.6%,结合“成本强度分布”计算结果,导致这种成本特征主要是由于“镇转运站”或“压缩站”管辖范围内,“村收集点”数量较多且距离“镇转运站”或“压缩站”实际

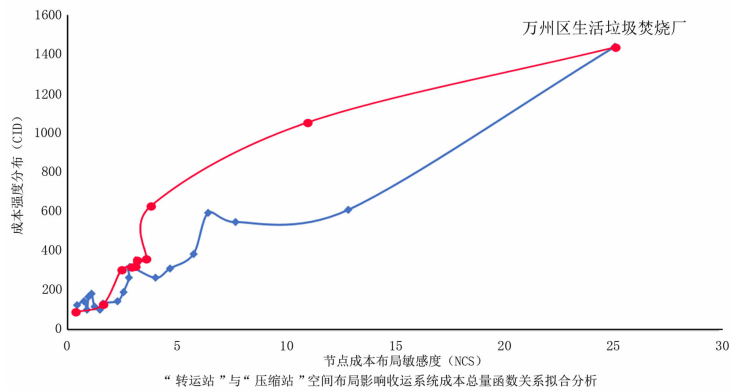


图 13 “转运站”与“压缩站”空间布局影响收运系统成本总量函数关系拟合分析

Fig. 13 Fitting analysis of the functional relationship between the spatial layout of “transportation and compression station” and the total cost of a collection and transportation system

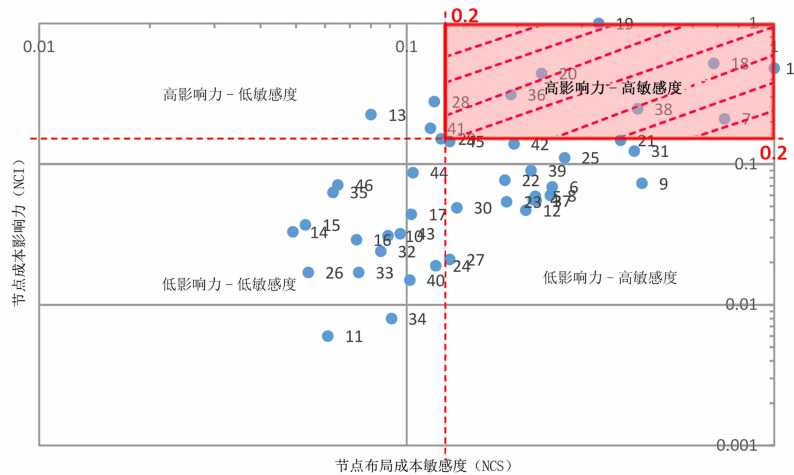


图 14 节点成本影响力与节点布局成本敏感度拟合分析,“影响力”与“敏感度”拟合分析中“高影响力 - 高敏感度”数值分别占比 20%

Fig. 14 Fitting analysis of node cost impact and node layout cost sensitivity. The “high impact-high sensitivity” values in the “impact” and “sensitivity” fitting analysis accounted for 20% respectively

距离较长,同时距离高层级的设施距离较近。因此,缩短“收集点 - 转运站”或“转运站 - 压缩站”的距离,将高等级的设施布局于所辖区域的中心位置,能够有效地降低收运系统成本。

2.2.5 镇转运站与压缩站“节点成本影响力”与“节点布局成本敏感度”拟合分析

对“节点成本影响力”与“节点布局成本敏感度”^①进行拟合分析(图 14),进一步挖掘“镇转运站”与“压缩站”在“影响力”与“敏感度”双属性条件下设施类型划分与空间布局形式。

由图 14 可知,现状收运系统中“镇转运站”与“压缩站”双属性条件下可分为“高影响力 - 高敏感

度”、“高影响力 - 低敏感度”、“低影响力 - 高敏感度”和“低影响力 - 低敏感度”四种类型(表 6)。

3 万州区生活垃圾收运系统“跨层级”收运布局优化

3.1 “跨层级”收运现状分析与优化思路

3.1.1 现状分析

通过对万州区生活垃圾收运系统现状的进一步分析,可以发现现状收运系统存在着“收集点 - 压缩站”“转运站 - 处置场”等两种“跨层级”收运的情况存在,主要包括高峰镇、甘宁镇、茨竹乡、燕山

① 为增加数据对比科学性,对节点成本布局敏感度进行标准化处理。

表 6 “镇转运站”与“压缩站”双属性类型划分

Tab.6 “Transfer station” and “compression station” dual attribute type division

| 设施名称 | 类型 | 镇转运站占比 |
|--|-----------|--------|
| 高粱镇转运站、分水镇转运站、龙驹镇压缩站、走马镇转运站、武陵镇转运站、新田镇转运站、 壤渡镇转运站 | 高影响力－高敏感度 | 85.7% |
| 太安镇转运站、响水镇转运站、弹子镇转运站、郭村镇转运站、天城镇转运站 | 高影响力－低敏感度 | 100% |
| 后山镇转运站、甘宁镇转运站、恒合土家族乡转运站、余家镇压缩站、长岭镇转运站、罗田镇转 运站、高峰镇转运站、普子乡转运站、太龙镇压缩站、白土镇转运站、长滩镇转运站、白羊镇压 缩站、熊家镇压缩站、李河镇压缩站、龙沙镇压缩站 | 高敏感度－低影响力 | 60% |
| 黄柏乡转运站、溪口乡转运站、九池乡转运站、孙家镇转运站、小周镇转运站、大周镇转运站、 梨树乡转运站、天高镇压缩站、长坪乡转运站、燕山乡转运站、茨竹乡转运站、铁峰乡转运站、 万泉路压缩站、柱山乡转运站、地宝土家族乡转运站、新乡镇转运站 | 低敏感度－低影响力 | 87.5% |

资料来源:作者整理

乡、长坪乡、溪口乡、长滩镇、走马镇、长岭镇、新乡镇等 11 个“镇转运站”为“跨层级”收运(图 15)。“收集点－压缩站”是由于压缩站设置于收集点所在镇,再设置“转运站”会造成资源浪费和成本增加;“转运站－处置场”为生活垃圾由“镇转运站”直接收运至“处置场”,由于一定范围内多个“镇转运站”分别收运,导致收运成本总量增加,因此,“转运站－处置场”为本次优化的重点。

3.1.2 优化思路

通过“节点成本影响力”的计算与分析可以发

现“跨层级”收运会导致成本增加,现状收运系统优化应增加“压缩站”,构成“收集点－转运站－压缩站－处置场”完整的层阶结构。通过节点布局成本敏感度的计算与分析可以发现,“镇转运站”“压缩站”布局优化应趋近所服务范围内的“中心”,缩短“村收集点－镇转运站”“镇转运站－压缩站”的空间距离,从而降低收运系统运行的整体成本。

综合以上分析,本文提出增加“压缩站”以完善“收集点－转运站－压缩站－处置场”的收运流程,且“转运站”“压缩站”位于所服务范围内地理中心

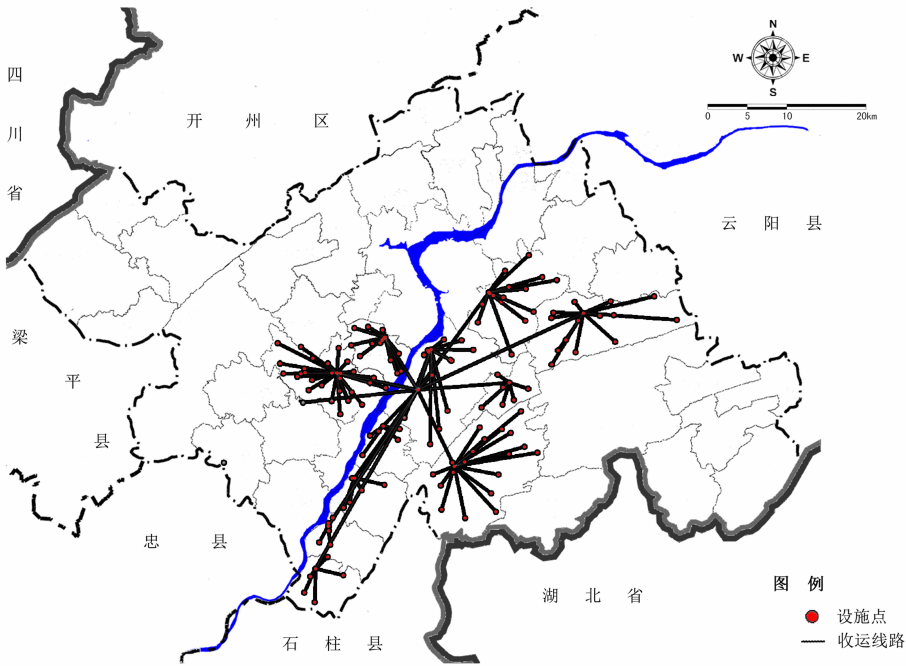


图 15 万州区生活垃圾收运系统“跨层级”收运示意图

Fig. 15 Schematic diagram of “cross-level” domestic garbage collection and transportation system at Wanzhou District

位置的优化思路。

3.2 优化路径与结果

3.2.1 优化路径

以“节点布局成本敏感度”指标原理为基础,将转运站布局在所服务范围内的地理中心位置,以降低“收集点-转运站”之间的成本。首先,将“高峰镇、甘宁镇、茨竹乡、燕山乡、长坪乡、溪口乡、长滩镇、走马镇、长岭镇、新乡镇”转运站调整到所服务的村庄“收集点”的相对地理中心位置。其次,根据新调整的“转运站”的空间布局,选取地理空间分布较为集中的多个“转运站”确定新增“压缩站”的空间布局位置,保证“压缩站”位于“转运站”的地理中心位置(图 16)。

3.2.2 优化结果

通过对比优化前后层级之间的“成本强度分布”数值大小,可进行优化思路与方法的验证。“跨层级”收运系统优化前存在“转运站-处置场”和“收集点-转运站”两个层级,通过公式(2)计算可得,“转运站-处置场”层级“成本强度分布”数值为 624;“收集点-转运站”层级数值为 2680,总值为 3304。优化后包括“压缩站-处置场”、“转运站-压缩站”和“收集点-转运站”三个层级,通过计算可得“压缩站-处置场”层级“成本强度分布”数值

为 94.5;“转运站-压缩站”层级数值为 262.5;“收集点-转运站”层级数值为 2559,总值为 2916。

可以发现,“跨层级”收运系统优化后“成本强度分布”数值减少 388,降低 11.7%;“转运站-压缩站-处置场”数值减少 361.5,降低 57.9%;“收集点-转运站”数值减少 121,降低 4.5%(表 7)。证明优化思路与方法能够有效降低收运系统运行成本。

表 7 收运系统层级结构规划优化前后
“成本强度分布”指标对比

Tab. 7 Comparison of “cost intensity distribution” indicators before and after optimization of the hierarchy structure of domestic garbage collection and transportation system

| 收运系统 层级结构 | 优化前“成本 强度分布”数值 | 优化后“成本 强度分布”数值 | 降低比例 % |
|--------------|-------------------|-------------------|-----------|
| “压缩站-处置场” | 0 | 94.5 | |
| “转运站-处置场” | 624 | 0 | 57.9 |
| “转运站-压缩站” | 0 | 262.5 | |
| “收集点-转运站” | 2680 | 2559 | 4.5 |

3.3 规划布局模式

综上研究分析,收运系统中“转运站”与“压缩站”的布局模式决定收运系统的成本总量,在不出

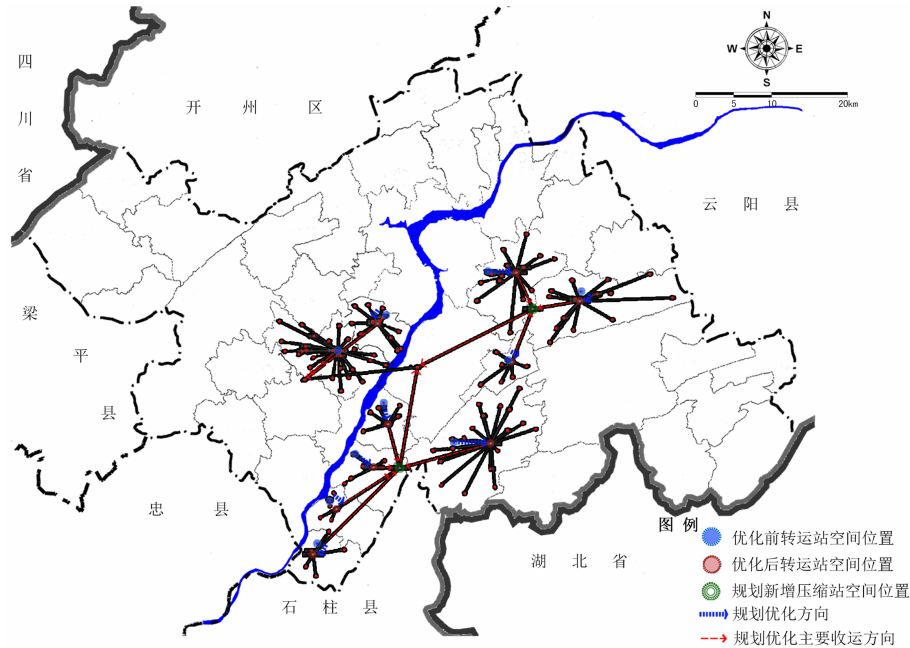


图 16 万州区生活垃圾收运系统“跨层级”规划优化示意图

Fig. 16 Schematic diagram of planning optimization of “cross-level” domestic garbage collection and transportation system at Wanzhou District

现“跨层级”收运的基础上,综合村镇布局模式、经济实力和生态环境等要素,提出“成本优先型”和“环境优先型”两种生活垃圾收运系统布局模式。

针对村庄布局较为分散、经济实力较弱的村镇,应以经济成本为优先考虑因素,控制“镇转运站”“压缩站”的“节点布局成本敏感度”数值 ≤ 1 。即“镇转运站”与“压缩站”空间布局应位于所服务范围内“村收集点”或“转运站”的地理中心位置,以减少“收集点-转运站”或“转运站-压缩站”之间的运行距离,从而降低收运系统整体经济成本。空间上呈现出“镇转运站”位于“村收集点”中心;“压缩站”位于“镇转运站”中心的结构特征(图 17)。

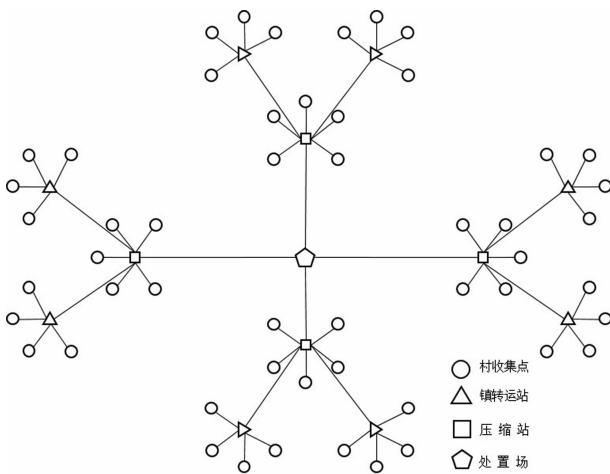


图 17 成本优先型布局模式

Fig. 17 Cost-first layout mode

针对生态环境敏感、人居环境品质高且经济实力较强的村镇,适当增加“镇转运站”与“村收集点”、“压缩站”与“镇转运站”之间的空间距离,使得“镇转运站”与“压缩站”的“节点布局成本敏感度”数值 $C_{NCS_i} > 1$ 。空间上呈现出“镇转运站”与“压缩站”远离“村收集点”层级而靠近“处置”层级的结构特征(图 18)。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文利用复杂网络工具与分析方法,以万州区生活垃圾收运系统为实践案例,研究得到以下主要结论:

(1)宏观层面收运系统成本呈现“类金字塔”构成结构。

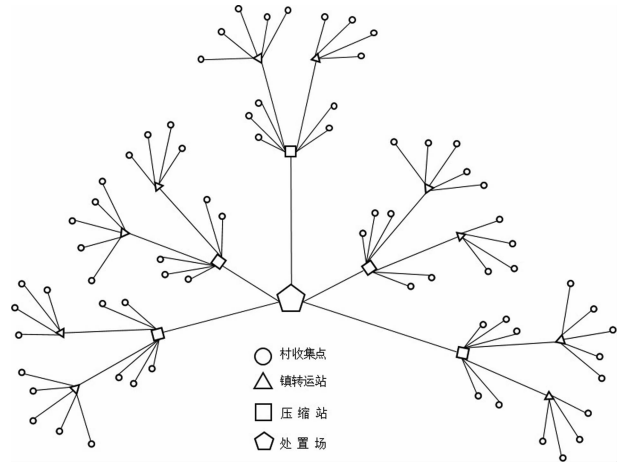


图 18 环境效益优先型布局模式

Fig. 18 Environmental benefits - first layout mode

(2)微观层面识别出“转运站”“压缩站”控制收运系统成本总量,且布局远离“收集点”会增加收运成本的布局特征。

(3)收运系统层级优化应将“转运站”或“压缩站”布局在所服务区域中心位置且减少“跨层级”收运有利于降低运行成本。

(4)重点设施布局应以“高节点影响力-高布局成本敏感度”类型设施为主。

4.2 讨论

本文的思路与方法具有普遍适用性,可应用于不同类型村镇地区生活垃圾收运系统的分析与优化,并可以推广至其他以降低运行成本为目标的系统的分析与空间布局优化。相较于其他方法,能够更加准确地对生活垃圾收运系统进行整体成本构成判断,以及设施布局形式对于收运系统运行成本的影响,为村镇生活垃圾收运系统低成本空间布局提供科学的方法。但同时也存在以下不足:①本文的研究只涉及了村镇环卫体系中的收集转运、处理处置两个方面,后续工作需进一步研究清扫保洁、综合利用与环卫管理等相关内容;②目前的指标体系只涉及了宏观与微观两个层面,针对村镇生活垃圾低成本收运系统空间布局的分析指标仍需精细化设计。

参考文献 (References)

- [1] 赵晶薇, 赵蕊, 何艳芬, 等. 基于“3R”原则的农村生活垃圾处理模式探讨[J]. 中国人口. 资源与环境, 2014(S2):263-266 [ZHAO Jingwei, ZHAO Rui, HE Yanfen, et al. Rural domestic garbage processing pattern based on the principle of 3R[J] China

- Population, Resources and Environment, 2014(S2): 263 - 266]
- [2] 岳波, 张志彬, 孙英杰, 等. 我国农村生活垃圾的产生特征研究[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(06): 129 - 134 [YUE Bo, ZHANG Zhibin, SUN Yingjie, et al. Characteristics of rural household solid wastes in China [J]. Environmental Science & Technology, 2014, 37(06): 129 - 134]
- [3] 王金霞, 李玉敏, 白军飞, 等. 农村生活固体垃圾的排放特征、处理现状与管理[J]. 农业环境与发展, 2011(02): 1 - 6. [WANG Jinxia, LI Yumin, BAI Junfei, et al. Discharge characteristics, treatment status and management of rural solid waste [J]. Agro-Environment & Development, 2011(02): 1 - 6]
- [4] 朱慧芳, 陈永根, 周传斌. 农村生活垃圾产生特征、处置模式以及发展重点分析[J]. 中国人口、资源与环境, 2014(S3): 297 - 300 [ZHU Huifang, CHEN Yonggen, ZHOU Chuanbin. Characteristic management pattern and development priorities of rural domestic waste in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2014, (S3): 297 - 300]
- [5] 张贺飞, 曾正中, 王春雨, 等. 西部农村垃圾收运系统设计与探讨[J]. 环境工程, 2011(06): 86 - 88 [ZHANG Hefei, ZENG Zhengzhong, WANG Chunyu, et al. Design and exploration of refuse collection and transportation system in western rural area of China [J]. Environmental Engineering, 2011, (06): 86 - 88]
- [6] 刘洁, 刘丹, 何彦峰. 城市垃圾收运系统优化模型研究综述[J]. 世界科技研究与发展, 2011(03): 435 - 439 [LIU Jie, LIU Dan, HE Yanfeng. Development of optimization of MSW collection and transportation [J]. World Sci-Tech R & D, 2011, (03): 435 - 439]
- [7] 刘伟, 秦侠, 王芳芳. 城市生活垃圾收运系统优化综述[J]. 安全与环境学报, 2009(05): 91 - 94 [LIU Wei, QIN Xia, WANG Fangfang. On the optimization of the system for municipal solid waste collection and transportation [J]. Journal of Safety and Environment, 2009, (05): 91 - 94]
- [8] BENJAMIN A M, BEASLEY J E. Metaheuristics for the waste collection vehicle routing problem with time windows, driver rest period and multiple disposal facilities[J]. Computers & Operations Research, 2010, 37(12): 2270 - 2280
- [9] JASKIEWICZ A, KOMINEK P. Genetic local search with distance preserving recombination operator for a vehicle routing problem[J]. European Journal of Operational Research, 2003, 151(2): 352 - 364
- [10] GHOSE M K, DIKSHIT A K, Sharma S K. A GIS based transportation model for solid waste disposal - A case study on Asansol municipality [J]. Waste Management, 2006, 26(11): 1287 - 1293
- [11] TAVARES G, ZSIGRAIOVA Z, Semiao V, et al. Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling[J]. Waste Management, 2009, 29(3): 1176
- [12] 王桂琴, 高博, 路鹏, 等. 基于 GIS 和多目标的生活垃圾运输路线优化研究[J]. 环境科学与技术, 2010(12): 180 - 183 [WANG Guiqin, GAO Bo, LU Peng, et al. Route optimization to municipal domestic waste based on GIS and multi-objective [J]. Environmental Science & Technology, 2010, (12): 180 - 183]
- [13] 陈海滨, 李文杰, 杨龑, 等. 基于节约法的村镇生活垃圾收运路线优化研究[J]. 环境工程, 2016(12): 122 - 125 [CHEN Haibin, LI Wenjie, YANG Hao, et al. Transportation route optimization for domestic waste in village and small towns based on saving algorithm [J]. Environmental Engineering, 2016, (12): 122 - 125]
- [14] 朱明华, 范秀敏, 刘炳凯, 等. 上海浦东新区城市生活垃圾收运路线优化研究[J]. 资源科学, 2009(09): 1612 - 1618 [ZHU Minghua, FAN Xiumin, LIU Bingkai, et al. Optimization of the route of municipal solid waste collection and transportation [J]. Resources Science, 2009, (09): 1612 - 1618]
- [15] 宋薇, 刘建国, 聂永丰. 城市生活垃圾收运路线优化研究[J]. 环境卫生工程, 2008(01): 11 - 12 [SONG Wei, LIU Jianguo, NIE Yongfeng. Study on route optimization for municipal domestic waste collection and transportation [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2008, (01): 11 - 12]
- [16] 袁京, 李国学, 张红玉, 等. 基于转运站满负荷的北京市新东西城区生活垃圾物流优化方案研究[J]. 环境科学, 2013(09): 3633 - 3640 [YUAN Jing, LI Guoxue, ZHANG Hongyu, et al. Optimization for MSW logistics of new Xicheng and new Dongcheng districts in Beijing based on the maximum capacity of transfer stations [J]. Environmental Science, 2013, (09): 3633 - 3640]
- [17] SON L H, LOUATI A. Modeling municipal solid waste collection: A generalized vehicle routing model with multiple transfer stations, gather sites and inhomogeneous vehicles in time windows [J]. Waste Management, 2016, 52: 34 - 49
- [18] AKHTAR M, HANNAN M A, BEGUM R A, et al. Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid waste collection and route optimization. [J]. Waste Management, 2017, 61(2017): 117 - 128
- [19] ARAGONÉS BELTRÁ N P, PASTOR FERRANDO J P, GARCÍA GARCÍA F, et al. An Analytic Network Process approach for siting a municipal solid waste plant in the Metropolitan Area of Valencia (Spain). [J]. Journal of Environmental Management, 2010, 91(5): 1071 - 1086
- [20] CHANG N B, PARVATHINATHAN G, BREEDEN J B. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region [J]. Journal of Environmental Management, 2008, 87(1): 139 - 153
- [21] QUEIRUGA D, WALTHER G, GONZÁLEZ BENITO J, et al. Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. [J]. Waste Management, 2008, 28(1): 181 - 190
- [22] 王晓霞, 原杰, 吕鹏举. 基于 Dijkstra 算法优化城市垃圾站的分布[J]. 现代电子技术, 2012(12): 105 - 106 [WANG Xiaoxia, YUAN Jie, LYU Pengju. Optimization of municipal refuse disposal facilities distribution based on Dijkstra Algorithm [J]. Modern Electronics Technique, 2012, (12): 105 - 106]

- [23] 杜亚娟, 郭强. 垃圾中转站最优选址及垃圾最优转运方案研究[J]. 计算机工程与应用, 2015(10):252–256 [DU Yajuan, GUO Qiang. Studies of optimal location of municipal wastes transfer station and optimal transfer plan of wastes[J]. Computer Engineering and Applications, 2015, **51**(10):252–256]
- [24] 李锐, 李茜铭, 杨瑛. 基于人口密度的城市小型转运环卫设施空间布局研究[J]. 经济地理, 2013(09):73–79 [LI Ni, LI Qianming, YANG Ying. The spatial distribution research of small urban transporter sanitation based on population density[J]. Economic Geography, 2013, (09): 73–79]
- [25] RABBANI M, SADRI S, RAFIEI H. Vehicle-routing in a multimodal transportation system used in waste collection[J]. 2014
- [26] DAS S, BHATTACHARYYA B K. Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. [J]. Waste Management, 2015, **43**:9–18
- [27] 曹勇锋, 荣宏伟, 张可方, 等. 结合重心法和层次分析法研究垃圾转运站选址[J]. 环境科学与技术, 2012, **35**(06):118–121 [ZHANG Kefang, RONG Hongwei, Zhang Kefang et al. Location selection of waste transfer station based on combining gravity method and AHP model[J]. Environmental Science & Technology, 2012, **35**(6):118–121]
- [28] 全欢欢, 孙旭, 赵由才. 浅析城市生活垃圾收运系统中的数学模型[J]. 环境卫生工程, 2009(04):43–44 [TONG Huanhuan, SUN Xu, ZHAO Youcai. Preliminary analysis of mathematical models applied to MSW collection and transportation system[J]. Environmental Sanitation Engineering, 2009, (04): 43–44]
- [29] 吕新福, 蔡临宁, 曲志伟. 废弃物回收物流中的选址-路径问题[J]. 系统工程理论与实践, 2005(05):89–94 [LYU Xinfu, CAI Lining, QU Zhiwei. The location-routing problem in the municipal solid waste logistics system[J]. System Engineering Theory and Practice, 2005, (05): 89–94]
- [30] 张金凤. 多目标进化算法在垃圾收运系统中的应用[J]. 广东工业大学学报, 2011(02):76–80 [ZHANG Jinfeng. The application of the multi-objective evolutionary algorithm in the collection and transportation system of solid waste[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2011, (02): 76–80]
- [31] 郭娟, 贺文智, 吴文庆, 等. 物联网技术在城市生活垃圾收运系统中的应用[J]. 环境保护科学, 2013(01):45–49 [GUO Juan, HE Wenzhi, WU Wenqing, et al. Application in MSW collection and transportation system with the Internet of things technology[J]. Environmental Protection Science, 2013, (01): 45–49]
- [32] 张群, 卫李蓉. 逆向物流网络设计研究进展[J]. 中国管理科学, 2016(09):165–176 [ZHANG Qun, WEI Lilong. Advances in reverse logistics network design research[J]. Chinese Journal of Management Science, 2016(09):165–176]
- [33] 何品品, 章骅, 吕凡, 等. 村镇生活垃圾处理模式及技术路线探讨[J]. 农业环境科学学报, 2014(03):409–414 [HE Pinpin, ZHANG Yu, LYU Fan, et al. Pattern classification of methods and feasible technology route for household waste management in villages and towns[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2014, (03): 409–414]
- [34] CAO J, PANG B, MO X, et al. A new model that using transfer stations for straw collection and transportation in the rural areas of China: A case of Jinghai, Tianjin[J]. Renewable Energy, 2016, **99**:911–918
- [35] DJ W, SH S. Collectivedynamics of ‘small-world’ networks: Nature, 1998[C]
- [36] NEWMAN M E J. The structure and function of complex networks [J]. SIAM Rev 45: 167–256. 2003, **45**(2):167–256
- [37] Barabasi A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks [J]. 1999
- [38] 黄勇, 张美乐, 李林, 等. 基于复杂网络城镇建设用地空间结构连通特征分析——以重庆黔江区为例[J]. 城市发展研究, 2017(08):57–63 [HUANG Yong, ZHANG Meile, LI Lin, et al. Analysis on connected characteristics of spatial structure of urban construction land based on complex network: A case study of Qianjiang District in Chongqing[J]. Urban Development Studies, 2017, (08): 57–63]
- [39] 黄勇, 肖亮, 胡羽. 基于社会网络分析法的城镇基础设施健康评价研究——以重庆万州城区电力基础设施为例[J]. 中国科学:技术科学, 2015(01):68–80 [HUANG Yong, XIAO Liang, HU Yu. Evaluation of urban infrastructure project health based on social network analysis: A case of power grid planning of Wanzhou Districts, Chongqing City (in Chinese). Sci Sin Tech, 2015, **45**: 68–80, doi: 10.1360/N092014–00071]
- [40] 黄勇, 冯洁, 石亚灵, 等. 城镇燃气管网的健康评价及规划优化[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2016(08):1240–1247 [HUANG Yong, FENG Jie, SHI Yaling, et al. Health evaluation and optimization of urban gas network[J]. Journal of Tongji University(NATURAL SCIENCE), 2016, (08): 1240–1247]
- [41] 甄茂成, 张景秋, 杨广林. 基于复杂网络的商业银行网点布局特征——以北京市中国银行为例[J]. 地理科学进展, 2013(12):1732–1741 [YAN Maocheng, ZHANG Jingqiu, YANG Guanglin. Characteristics of commercial bank branch networks based on complex networks theory: A case study on Bank of China in Beijing[J]. Progress in Geography, 2013, (12): 1732–1741]
- [42] 邓良凯, 石亚灵, 张弘, 等. 城市群城际铁路站点空间网络研究[J]. 城市发展研究, 2017(08):64–70 [DENG Liangkai, SHI Yaling, ZHANG Hong, et al. Research on spatial network of intercity Railway station in urban agglomeration[J]. Urban Development Studies, 2017, (08): 64–70]
- [43] ZSIGRAIOVA Z, SEMIAO V, BEIJOCO F. Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS [J]. The case study of Barreiro, Portugal. Waste Management, 2013, **33**(4):793

- [44] 杨巧艳, 陈尚云, 王正彬. 我国城市交通污染分析及其对策研究[J]. 四川环境, 2004(01): 84-87 [YANG Qiaoyan, CHEN Shangyun, WANG Zhengbin. Analysis of urban transportation pollution and its countermeasure research in China [J]. Sichuan Environment, 2004(01): 84-87]
- [45] 赵梓渝, 魏冶, 王士君, 等. 有向加权城市网络的转变中心性与控制力测度——以中国春运人口流动网络为例[J]. 地理研究, 2017(04): 647-660 [ZHAO Ziyu, WEI Ye, WANG Shijun, et al. Measurement of directed alternative centrality and power of directed weighted urban network: A case of population flow network of China during “Chunyun” period [J]. Geographical Research, 2017, (04): 647-660]
- [46] 刘铮, 王世福, 赵渺希, 等. 有向加权型城市网络的探索性分析[J]. 地理研究, 2013(07): 1253-1268 [LIU Zheng, WANG Shifu, ZHAO Miaoxi, et al. Exploratory analysis of directed weighted network of city [J]. Geographical Research, 2013, (07): 1253-1268]

Research on Spatial Distribution Method of Low-cost Living Waste Collection and Transportation System in Villages and Towns

HUANG Yong^{1,2}, QI Tong¹, SHI Yaling¹, WAN Dan³, ZHANG Sipeng¹

(1. Faculty of Architecture and Urban Planning, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Key Laboratory of New Technology for Construction of City in Mountain Area, Chongqing 400030, China;

3. Chongqing University Planning & Design Institute Co., Ltd, Chongqing 400030, China)

Abstract: In order to further reduce the operating cost of collection and transportation systems in villages and towns, which accounts for 70% of the total cost of domestic garbage disposal, in this research it constructed a research method and proposed a planning optimization strategy to alleviate the practical problems of “difficulties in handling and disposal with high cost” of living wastes in rural areas. It took the key element, “space layout of facilities”, as the research object, which dominate the operation cost of domestic garbage disposal. A complex network analysis method was introduced to scrutinize the operation mechanism of the domestic garbage collection and transportation system, and a model of directed and weighted complex network along with a “cost” evaluation and analysis index system were constructed to examine the overall structure and individual characteristics of the complex network. For cost control purpose, the operation of “transfer station” or “compression station” were carefully analyzed to quantify their cost composition, and then identify the critical facilities and the associated spatial layouts. It proposed the hierarchical optimization principle for the planning of collection and transportation system: “transfer station” or “compression station” should be placed in the center of service area; the actions of “cross-level” collecting or transporting should be reduced. And it stressed the key facility layout optimization principle, which characterized the type of layout with “high node influence-high layout cost sensitivity”. This research concluded a “cost-first” and “environment-first” layout model for the construction of collection and transportation systems suitable for different villages and towns. It would provide scientific insight for planning of low-cost domestic garbage collection and transportation system in rural community.

Key words: villages and towns; living waste; collection and transportation system; complex network; low cost space layout