

基于解释结构模型的建筑废弃物现场分类分拣 影响因素分析*

袁红平 刘志敏**

(西南交通大学经济管理学院,成都 610031)

摘要:为了进一步提升建筑废弃物减量化管理,本研究基于解释结构模型方法,甄别了13个实施建筑废弃物现场分类分拣的影响因素,并借助有向图描绘分析了这些因素的相互作用关系。研究发现,这13个主要影响因素可划分为6个层次,其中建筑废弃物分类分拣的可操作性差、场地空间及项目周边环境的限制、干扰工程的正常作业、缺乏政府管制政策、废弃物循环再利用市场不成熟以及建筑废弃物分类分拣的效益低是影响现场分类分拣效果的根本因素。

关键词:建筑废弃物;分类分拣;解释结构模型;影响因素

中图分类号:X799.1 文献标识码:A doi:10.16507/j.issn.1006-6055.2016.06.018

Analysis of Factors Influencing Construction Waste Sorting On-site Using Interpretive Structural Modeling*

YUAN Hongping LIU Zhimin**

(School of Economics and Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract: To promote construction waste minimization, the interpretative structural modeling (ISM) approach is proposed to analyze influence factors of construction waste sorting (CWS) on-site. In this study, thirteen factors influencing CWS on-site are distinguished, and with the help of directed graph, the interactive relationships among the factors are described and analyzed. The results show that the thirteen factors identified can be categorized into six levels. In line with the results, the effectiveness of CWS on-site is mainly affected by six factors of significant importance, including poor operability of waste sorting on-site, limitation of site space and surroundings, impact on normal construction activities, poor government regulations, immature waste recycling market, and low efficiency of waste sorting on-site.

Key words: construction waste; on-site sorting; interpretative structural modeling; influence factor

1 引言

近年来,大规模的城市建设和更新改造产生了大量建筑废弃物。在我国,建筑废弃物已占到城市固体废弃物总量的30%~40%,不少城市已出现建筑废弃物围城的现象^[1]。由于对建筑废弃物管理不够重视,我国每年建筑废弃物的排放总量已超过4亿吨,占用土地达4万亩^[2]。建筑废弃物按性质可分为惰性物质(砂土、砖石、混凝土等)和非惰性物质(竹、塑料、玻璃和木材等)两种类型^[3]。根据循环经济理论,缓解建筑废弃物管理问题的一大关

键在于促进废弃物减量化^[4],而实施现场分类分拣是提升废弃物减量化的有效途径^[5],因为在建筑废弃物产生之初最容易将其进行分类,以便后续处理^[6]。李景茹等^[7]实地调查深圳市23个在建工程后发现,仅有61.1%的施工单位在废弃物产生时开展现场分类分拣,再分类堆放并处理。根据已有文献^[8-12],建筑废弃物现场分类分拣的实施主要受制于经费限制、场地空间限制、分类分拣的可操作性等诸多因素。然而,已有相关研究仅从静态视角识别、分析影响建筑废弃物现场分类分拣的因素,缺乏对因素之间相互作用机理的探讨,不利于改进建筑废弃物现场分类分拣方案,也不利于减量化管理水平的提升。

解释结构模型(Interpretative Structural Modeling, ISM)方法能将复杂的系统分解为若干子系统,利用有向图、矩阵等工具,对系统中的要素及其相互关系等信息进行处理,最终将所研究的对象系统构

2016-04-05 收稿,2016-07-04 接受,2016-12-25 网络发表

* 国家自然科学基金(71203184,71573216),中央高校基本业务费科技创新项目(26816WCX01),四川循环经济研究中心重点项目(XHJJ-1503)资助

** 通讯作者,E-mail:543961242@qq.com;Tel:15520486795

建成一个多级递阶的结构模型^[13]。模型的构建主要以专家判断为基础,以从属关系为导向,将众多影响因素进行分类和次序优化,从而为资源配置的优化提供决策参考^[14]。近年来,ISM 方法已被广泛应用于诸多领域,以深入分析系统中因素间的复杂作用关系。例如,Trivedi 等^[15]分析了灾后的固体废弃物管理问题,发现通过分析各主要因素之间的影响关系,能有效推进灾害废弃物管理计划的制定和实施,为开展有效救济提供决策支持;基于所构建的 ISM 模型,Jayant 和 Azhar^[16]甄别了影响绿色供应链推广的不利因素,进而确定了最具影响力的障碍因素;利用 ISM 方法,王苑秋和张永安^[17]详细分析了 13 项技术并购的协同影响因素,实证研究结果表明,基于 ISM 所构建的模型对技术并购现象具有较好的解释能力;此外,常玉和刘显东^[18]所提出的高新技术企业技术创新能力的 ISM 模型为高新技术企业的技术创新能力评价提供了新思路。

综上,在分析系统中主要因素之间相互作用关系的问题上,ISM 方法有着显著优势。因此,本文以已有文献为基础,识别影响建筑废弃物现场分类分拣的主要因素,建立建筑废弃物现场分类分拣影响因素的 ISM 模型,以便在众多影响因素中明确直接影响因素、间接影响因素和根本影响因素,为分类分拣方案的进一步优化奠定基础。

2 影响建筑废弃物现场分类分拣的主要因素

在系统分析、综述国内外相关文献的基础上,从成本投入、分类分拣实施的可行性、工期要求、管理要求以及外部环境等 5 个方面着手确定影响建筑废弃物现场分类分拣的影响因素,最终确定了 13 个主要影响因素,如表 1 所示。

表 1 影响建筑废弃物现场分类分拣的主要因素

序号	影响因素	描述	来源
S ₁	人力投入不足	建筑废弃物现场分类分拣的人员投入不足	[8-12]
S ₂	经费投入不足	实施建筑废弃物现场分类分拣的经费短缺	[9,11,12]
S ₃	设备投入不足	用于建筑废弃物现场分类分拣的设备不足	[8,10,11]
S ₄	废弃物循环利用市场不成熟	建筑废弃物循环利用市场机制不健全,技术较落后,加工利用的途径不成熟	[8-10]
S ₅	建筑废弃物分类分拣的可操作性差	技术原因或废弃物本身性质的原因导致分类分拣工作难以开展	[8,10,11]

续表 1

序号	影响因素	描述	来源
S ₆	场地空间及项目周边环境限制	用于现场分类分拣的设备和储存需占用一定的空间,由于工程项目场地限制而无法满足要求	[8-12]
S ₇	干扰工程的正常作业	废弃物现场分类分拣会对工程的正常施工作业造成干扰	[8,9,11]
S ₈	拖延工程进度	实施废弃物现场分类分拣会影响工程项目各项建设活动的顺利推进	[8,10,11]
S ₉	缺乏人员管理与培训	对建筑废弃物分类分拣人员的前期培训与管理不到位	[8-11]
S ₁₀	有害建筑废弃物处置不当	施工过程中产生的有毒有害废弃物的处置不当会污染其他材料,影响后续循环再利用,甚至产生更多的废弃物	[10]
S ₁₁	建筑废弃物分类分拣的效益低	建筑废弃物现场分类分拣所产生的效益不及预期	[9,11]
S ₁₂	缺乏政府管制政策	相关政府管理部门未出台具体的建筑废弃物现场分类分拣促进政策	[10,12]
S ₁₃	干系人的态度消极	项目干系人对建筑废弃物现场分类分拣持消极态度,实施现场分类分拣的意愿低	[9]

3 基于 ISM 的建筑废弃物现场分类分拣模型

利用 ISM 方法,深入分析影响建筑废弃物现场分类分拣的 13 个因素的相互作用关系的具体步骤如下。

3.1 建立邻接矩阵

邻接矩阵 (Adjacency Matrix) 用于描述系统内各要素两两之间的直接关系。首先,确定系统构成, $S = (S_1, S_2, \dots, S_{13})$, 其中 $S_1 \sim S_{13}$ 为影响因素。然后,根据专家访谈结果确定因素间的两两对应关系,本文定义 $S_i RS_j$ 为因素 S_i 对因素 S_j 有直接影响, $S_i \bar{R}S_j$ 为因素 S_i 对因素 S_j 无直接影响。最后,将所有因素间的关系归纳汇总成一个邻接矩阵因素 $A = (a_{ij})$, 其中 A 的元素 a_{ij} 为

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & S_i RS_j \\ 0, & S_i \bar{R}S_j \end{cases} \quad (1)$$

针对本文所研究的建筑废弃物现场分类分拣系统,各项影响因素即为本系统的构成要素。在本文中,系统的构成要素是 13 项建筑废弃物现场分类的影响因素,按照顺序依次命名为 $S_1 \sim S_{13}$ 。

本研究征询了包括 2 名项目经理、2 名现场技术负责人、1 名项目质量管理人员及 1 名现场工程师在内的 6 位专家。通过整合 6 位专家反馈的意见,最终得到以下 13 个主要因素间的相互关系,以邻接矩阵 A 表示。

$$A = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \end{matrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

即可达矩阵为

$$M = \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \\ S_8 \\ S_9 \\ S_{10} \\ S_{11} \\ S_{12} \\ S_{13} \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

3.2 建立可达矩阵

对邻接矩阵 A 和单位矩阵 I 求和,得到矩阵 $(A + I)$ 。采用布尔运算规则,对 $(A + I)$ 进行幂运算,直至式(2)成立,即运算输出的矩阵中不产生新的“1”(不发现新的间接关系)为止^[17]。

$$M = (A + I)^{n+1} = (A + I)^n \neq \dots \neq (A + I)^2 \neq (A + I) \quad (2)$$

此时,称矩阵 $M = (A + I)^n$ 为可达矩阵。 $M = (m_{ij})$ 中为 1 的元素表示 S_i 到 S_j 之间存在可达路径,反之,为 0 的元素则表示 S_i 到 S_j 之间不存在可达路径。得到的可达矩阵 M 反映了影响建筑废弃物现场分类分拣的各因素之间的所有影响关系。

对 3.1 节所构建的建筑废弃物现场分类分拣影响因素邻接矩阵 A 进行 $A + I$ 的幂运算,当 $n = 4$ 时,

$$M = (A + I)^5 = (A + I)^4 \neq (A + I)^3 \neq (A + I)^2 \neq (A + I) \quad (3)$$

3.3 级间划分

根据可达矩阵进行区域划分、级间划分和强连通块划分。级间划分的目的是以可达矩阵为准则,将系统中的所有要素划分成不同层次。

首先,从可达矩阵 M 可求出各因素的可达集 $R(S_i)$ 、前因集 $A(S_i)$ 及它们的交集 $R(S_i) \cap A(S_i)$,如表 2 所示。进一步计算可得到共同集合 T 以及最高要素集合 L 。其中,

$$R(S_i) = \{S_j \in \mathbf{N} \mid m_{ij} = 1\} \quad (4)$$

$$A(S_i) = \{S_j \in \mathbf{N} \mid m_{ji} = 1\} \quad (5)$$

$$T = \{S_j \in \mathbf{N} \mid R(S_i) \cap A(S_i) = A(S_i)\} \quad (6)$$

$$L = \{S_j \in \mathbf{N} \mid R(S_i) \cap A(S_i) = R(S_i)\} \quad (7)$$

由表 2 可知:共同集合 $T = \{5,6,7,11\}$,即最底层元素为: S_5 、 S_6 、 S_7 、 S_{11} 。但 $R(5) \cap R(6) \cap R(7) \cap R(11) = \phi$,其中 $R(6) \cap R(7) \cap R(11) \neq \phi$

表 2 建筑废弃物现场分类分拣的可达集、前因集和共同集

要素 S_i	可达集 $R(S_i)$	前因集 $A(S_i)$	$R(S_i) \cap A(S_i)$
S_1	1	1,2,4,7,8,9,11,12,13	1
S_2	1,2,3,8,9,10,13	2,4,7,8,11,12,13	2,8,13
S_3	3,10	2,3,4,6,7,8,11,12,13	3
S_4	1,2,3,4,8,9,10,12,13	4,11	4
S_5	5	5	5
S_6	3,6,10	6	6
S_7	1,2,3,7,8,9,10,13	7	7
S_8	1,2,3,8,9,10,13	2,4,7,8,11,12,13	2,8,13
S_9	1,9,10	2,4,7,8,9,11,12,13	9
S_{10}	10	2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,14	10
S_{11}	1,2,3,4,8,9,10,11,12,13	11	11
S_{12}	1,2,3,8,9,10,12,13	4,11,12	12
S_{13}	1,2,3,8,9,10,13	2,4,7,8,11,12,13	2,8,13

ϕ 。因此,系统存在两个连通域 Q_1 和 Q_2 ,现分别对两个连通域进行分析:

1) $Q_1 = \{5\}$ 为单元素集,集合中的元素 S_5 作为根本因素对建筑废弃物现场分类分拣的实施构成直接影响;

2) $Q_2 = \{1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,13\}$ 。

首先,求出最高要素集合 L_1 。集合 L_1 中的元素具有以下特征:从其他因素可直接或间接到达该因素,而该因素不存在到达其他因素的路径。同属于一个集合 L 的因素表明其同属于一个层次。根据 L 的定义从表 2 中可得到 $L_1 = \{S_1, S_{10}\}$,然后在可达矩阵 M 中将 S_1 及 S_{10} 对应的行和列删去,得到可达子矩阵 M' ,继续对矩阵 M' 重复以上操作,依次可得到 L_2, L_3, \dots, L_6 ,直至对所有元素都进行级间划分。通过重复计算,将 Q_2 中的 12 项影响因素划分在 6 个层次上,最终确定的因素级间层次划分用式(8)表示。

$$L = L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6$$

$$= \{S_1, S_{10}\}, \{S_3, S_9\}, \{S_2, S_6, S_8, S_{13}\}, \{S_7, S_{12}\}, \{S_4\}, \{S_{11}\}$$

(8)

3.4 生成 ISM 模型

在进行级间划分后,发现存在同一层级的 L_3 中有三个要素 S_2, S_8, S_{13} 相互可达,即 $\{2, 8, 13\}$ 属于强连通块。根据得出的因素级间顺序重新排列可达矩阵 M 的行和列,得到矩阵 M'' 。由于 M'' 中存在强连通块,所以需对 M'' 进行缩减,只要选择其中一个作为代表要素即可。现选 S_2 作为代表要素,得到经过重新排列后的缩减可达矩阵 M''' 如下:

$$M''' = \begin{matrix} S_5 & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

由以上所得的缩减可达矩阵及其所表征的关系,结合研究的问题 S_0 ——建筑废弃物现场分类分拣的实施效果,用有向图连接相邻级别间的因素,可得到如图 1 所示的建筑废弃物现场分类分拣影响因素的 ISM 模型。该模型直观地反映出各个不同级别的因素的相互作用关系。

4 结果分析及改进措施建议

4.1 模型结果及分析

根据所构建的 ISM 模型,影响建筑废弃物现场分类分拣的 13 个主要因素可划分为六个层次及三种类型,即直接因素、间接因素和根本因素。第一层是直接因素,这一层的因素既受到其他因素的影响,又直接影响着现场分类分拣的效果;第二、三层为间接因素,这一类因素在系统中受到根本因素影响的

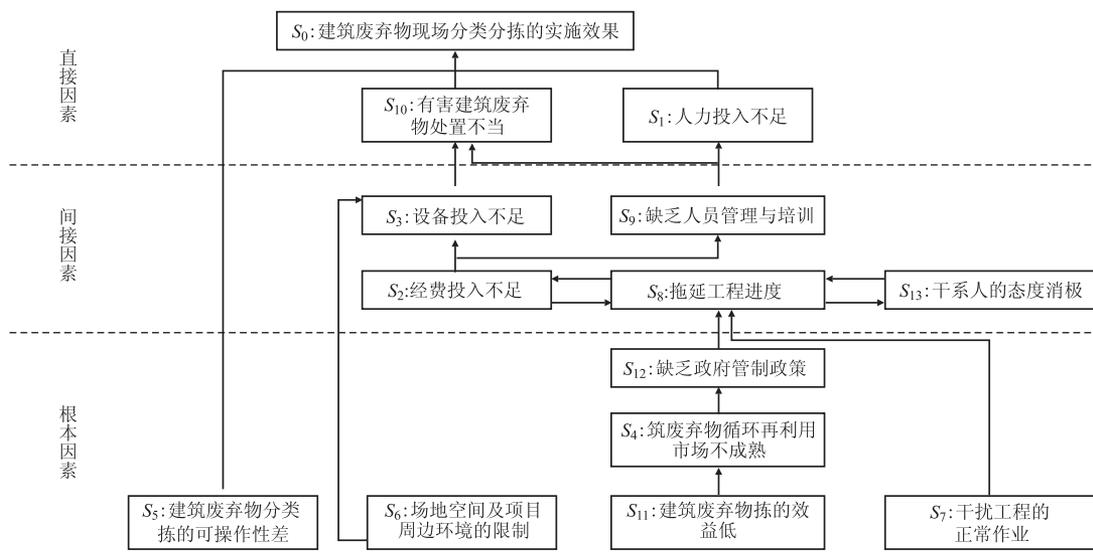


图 1 建筑废弃物现场分类分拣影响因素的 ISM 模型

同时也影响着直接因素;第四至六层是根本因素,这一类因素主要是受自身客观条件所限制并通过间接因素而影响直接因素。

具体而言,决定建筑废弃物现场分类分拣实施效果的最根本因素(最底层因素)是“建筑废弃物分类分拣的可操作性差”、“场地空间及项目周边环境的限制”、“干扰工程的正常作业”及“建筑废弃物分类分拣的效益低”四个因素。其中,“建筑废弃物分类分拣的可操作性差”作为独立因素直接影响现场分类分拣的实施效果;“场地空间及项目周边环境的限制”则是通过“设备投入不足”对现场分类分拣产生影响;而“建筑废弃物分类分拣的效益低”则是与“废弃物循环再利用市场不成熟”及“缺乏政府管制政策”构成递阶性的影响关系,最终与“干扰工程的正常作业”共同对上一级因素产生影响。其中,“建筑废弃物分类分拣的效益低”是制约现场分类分拣的关键,因为低效益会影响废弃物循环再利用市场的建立和发展,并进一步向上影响干系人开展分类分拣的意愿。

在间接因素层,“经费投入不足”、“拖延工程进度”和“干系人的态度消极”等三个因素之间相互可达,存在着两两相互作用关系,构成一个强连通域。这三者可看作是影响“设备投入不足”和“缺乏人员管理与培训”的一个整体,并与根本因素“场地空间及项目周边环境的限制”共同导致“设备投入不足”。此外,这三个因素所构成的整体还导致了“缺乏人员管理与培训”。

在直接因素层,“设备投入不足”及“缺乏人员管理与培训”导致了“对有害建筑废弃物处置不当”,进而间接影响分类分拣的实施效果,同时,“缺乏人员管理与培训”还会导致“人力投入不足”,并最终影响分类分拣的实施效果。

另外,“建筑废弃物分类分拣的可操作性差”作为根本因素直接影响分类分拣的实施效果,却不受其他任一因素的影响,这是因为建筑废弃物分类分拣的可操作性是由在施工现场产生的废弃物的具体组成和项目所具备的技术条件等客观原因决定的。

4.2 改进措施建议

构建建筑废弃物现场分类分拣影响因素的ISM模型的目的是挖掘影响废弃物现场分类分拣实施成效的关键因素,以及这些因素之间的相互影响及层次关系。研究的现实意义在于深入理解在评估现有的废弃物现场分类分拣方案时,需要考虑哪些主要

方面,以及这些方面的轻重缓急,从而能够有层次、有重点、分阶段的解决关键难点。

基于上述模型分析结果,“建筑废弃物分类分拣的可操作性差”、“场地空间及项目周边环境的限制”、“干扰工程的正常作业”、“缺乏政府管制政策”、“废弃物循环再利用市场不成熟”以及“建筑废弃物分类分拣的效益低”就是提升废弃物现场分类分拣实践首先必须解决的问题。可以采取的应对之策包括:1)及时对施工产生的废弃物进行分类分拣,以免不同性质的废弃物交叉污染,降低分类分拣的可操作性;2)在施工组织设计时提出详细的建筑废弃物现场分类分拣实施方案(包括分类设施布局、废弃物场内运输路径、废弃物现场存储点布置等);3)进一步从经济效益、环境效益等方面对现场分类分拣实践进行量化评估,提升分类分拣的总效益;4)以政府为主导,按照市场化运作模式逐步构建建筑废弃物的区域化循环再利用平台和机制,不断完善循环再利用市场;5)在现有相关法规基础上,以系统化视角审视法规的完整性和有效性,有针对性的出台并完善建筑废弃物管理法规体系。

5 结论

影响建筑废弃物现场分类分拣的因素众多且关系错综复杂,每个因素对现场分类分拣实施效果的影响程度也不尽相同。深入理解影响建筑废弃物现场分类分拣实施效果的因素及其相互作用机理,是促进建筑废弃物减量化和循环再利用的重要手段。本文识别了影响建筑废弃物现场分类分拣的13个主要因素,并利用ISM方法构建了废弃物现场分类分拣的多级递阶结构模型。模型分析结果显示,“建筑废弃物分类分拣的可操作性差”、“场地空间及项目周边环境限制”、“干扰工程的正常作业”、“缺乏政府管制政策”、“废弃物循环再利用市场不成熟”以及“建筑废弃物分类分拣的效益低”是影响废弃物现场分类分拣的根本因素,应该作为提升废弃物现场分类分拣成效的改进重点。“设备投入不足”以及“缺乏人员管理与培训”通过“对有害建筑废弃物处置不当”以及“人力投入不足”间接影响了现场分类分拣的效果。因此,对间接因素的改进重点应放在导致“设备投入不足”和“缺乏人员管理与培训”的各项间接因素上。研究结果不仅揭示了影响建筑废弃物现场分类分拣的主要因素间的层级及其作用机理,还为改进废弃物现场分类分拣提供了

科学依据。

参考文献

- [1] 周文娟,陈家珑,路宏波. 我国建筑垃圾资源化现状及对策[J]. 建筑技术,2009,40(8):741-744.
- [2] 司岩,石毅. 深圳市龙岗区建筑垃圾综合处理与利用对策研究[J]. 中国科技博览,2009,(12):167-168.
- [3] YUAN H, LU W, HAO J. The evolution of construction waste sorting on-site[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 20: 483-490.
- [4] 王家远,李政道,王西福. 设计阶段建筑废弃物减量化影响因素调查分析[J]. 工程管理学报,2012,(4):27-31.
- [5] 王家远,袁红平. 基于系统动力学的建筑废料分类分拣管理模型[J]. 科技进步与对策,2008,25(10):74-78.
- [6] 曹小琳,刘仁海. 建筑废弃物资源化多级利用模式研究[J]. 建筑经济,2009,(6):91-93.
- [7] 李景茹,米旭明,丁志坤,等. 施工现场建筑废弃物产生和处置调查[J]. 生态经济,2011,(4):105-108.
- [8] WANG J, YUAN H, KANG X, et al. Critical success factors for on-site sorting of construction waste: a China study[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2010, 54(11):931-936.
- [9] POON C, ANN T, NG L. On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2001, 32(2):157-172.
- [10] 马秋雯. 基于 ANP 的建筑废弃物现场分类分拣方案评估模型研究[J]. 经济研究导刊,2015,(7):198-200.
- [11] 毛大任,陈建国. 基于 AHP 的建筑废料分类回收方案决策方法研究[J]. 工程管理学报,2010,24(4):378-382.
- [12] 王家远,李政道,王西福. 基于系统动力学的建筑废弃物经济成本评估[J]. 建筑经济,2012,(8):95-98.
- [13] PFOHL H, GALLUS P, THOMAS D. Interpretive structural modeling of supply chain risks[J]. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2011, 41(9):839-859.
- [14] PRASAD S, CHALAPATHI P. Factors Influencing Implementation of OHSAS 18001 In Indian construction organizations: Interpretive Structural Modeling approach[J]. Safety and Health at Work, 2015, 6(3):200-205.
- [15] TRIVEDI A, SINGH A, CHAUHAN A. Analysis of key factors for waste management in humanitarian response: An Interpretive Structural Modelling approach[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2015, 14(4):527-535.
- [16] JAYANT A, AZHAR M. Analysis of the barriers for implementing green supply chain management (GSCM) practices: an interpretive structural modeling (ISM) Approach[J]. Procedia Engineering, 2014, 97(1):2157-2166.
- [17] 王宛秋,张永安. 基于解释结构模型的企业技术并购协同效应影响因素分析[J]. 科学学与科学技术管理,2009,30(4):104-109.
- [18] 常玉,刘显东. 应用解释结构模型(ISM)分析高新技术企业技术创新能力[J]. 科研管理,2003,24(2):41-48.

(上接第 1201 页)

时,与汽油机的点火正时规律类似。

参考文献

- [1] 杨博,刘亦夫,尉星,等. 双燃料发动机电控单元的设计与控制策略[J]. 西安交通大学学报,2014,48(5):8-14.
- [2] MOUSAVI S M, SARAY R K, POORGHASEMI K, et al. A numerical investigation on combustion and emission characteristics of a dual fuel engine at part load condition[J]. Fuel, 2016, 166:309-319.
- [3] LIU J, YANG F, WANG H, et al. Effects of pilot fuel quantity on the emissions characteristics of a CNG/diesel dual fuel engine with optimized pilot injection timing[J]. Applied Energy, 2013, 110(1):201-206.
- [4] WEI L, GENG P. A review on natural gas/diesel dual fuel combustion, emissions and performance[J]. Fuel Processing Technology, 2016, 142:264-278.
- [5] 宋江涌. LNG/柴油双燃料汽车发动机的掺烧研究[D]. 西安:长安大学,2014.
- [6] SAHOO B B, SAHOO N, SAHA U K. Effect of engine parameters and type of gaseous fuel on the performance of dual-fuel gas diesel engines—A critical review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009, 13(6-7):1151-1184.
- [7] 张承维,肖兵,钟家明. 柴油-天然气双燃料发动机替代率与喷油提前角优化[J]. 汽车工程,2015,37(11):1232-1239.
- [8] 宋建桐,张春化,李婕. 喷油正时对电控共轨柴油机燃用 LNG-柴油双燃料的影响[J]. 车用发动机,2015,221(6):85-89.
- [9] 姚春德,姚广涛,宋金瓯,等. 柴油引燃预混合天然气实现准均质压燃着火燃烧方式的理论研究[J]. 汽车工程,2005,27(2):168-171.
- [10] LATA D B, MISRA A. Analysis of ignition delay period of a dual fuel diesel engine with hydrogen and LPG as secondary fuels[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2011, 36(5):3746-3756.
- [11] 高青,田文凯,张纪鹏,等. 天然气/柴油双燃料燃烧特性及规律的研究[J]. 内燃机学报,2000,18(2):127-132.