

建筑垃圾处理环境影响的生命周期评价

曾晖

(五邑大学 土木建筑学院, 广东 江门 529020)

摘要: 为了量化评价建筑垃圾处理对环境的影响, 提出了建筑垃圾处理的生命周期评价方法。分析了建筑垃圾的拆除、运输、处理三个阶段的资源消耗, 并比较了建筑垃圾的回收利用、资源化和填埋处理等三种不同处理方式的资源消耗情况。应用该方法对广州某建筑物拆除的建筑垃圾进行分析。结果表明, 建筑垃圾的回收利用、资源化和填埋处理的资源消耗指数分别为: $2.91E-02$ 、 $3.82E-02$ 和 $4.98E-02$ 。其中, 填埋处理中土地资源的归一化值为 $1.95E-01$, 远大于不可再生资源的消耗。说明填埋处理对土地的占用量很大, 今后应尽量避免采用填埋处理的方式, 积极采用回收利用和资源化处理的方式。

关键词: 建筑垃圾处理; 生命周期评价; 环境影响评价; 资源消耗

文献引用: 曾晖. 建筑垃圾处理环境影响的生命周期评价[J]. 生态经济, 2013 (11) : 132 ~ 135.

中图分类号: F426; X7

文献标识码: A

Life Circle Assessment on the Environmental Impacts of Construction Waste Disposal

ZENG Hui

(School of Civil Engineering and Architecture, Wuyi University, Jiangmen Guangdong 529020, China)

Abstract: In order to quantitatively assess the environmental impacts of construction waste disposal, a life cycle assessment method is put forward for construction waste disposal assessment. The resource consumption in three stages is analyzed, including construction waste removal, transport and disposal, and a comparison is made on the resource consumption situations of three different disposal ways, the construction waste recycling, resource recovery and landfill disposal. This method is applied to analyze the construction waste generated in the demolition of a building in Guangzhou. The results show that the resource consumption indexes of construction waste recycling, resource recycling and landfill disposal are $2.91E-02$, $3.82E-02$ and $4.98E-02$, respectively. Among them, the normalized value of land resource by landfill disposal is $1.95E-01$, far more than the consumption of non-renewable resources. It indicates that much land is occupied by landfill disposal, so it is suggested to avoid adopting the method of landfill disposal as far as possible in future, but to actively adopt the methods of recycling and resource recovery.

Key words: construction waste disposal; life cycle assessment; environmental impact assessment; resource consumption

根据相关统计资料分析, 目前, 我国每年产生的建筑垃圾已达 1200×10^8 t 左右, 如北京、上海、广州等城市建设发展较快的城市每日的建筑垃圾量已达 217×10^4 t。面对如此巨大的建筑垃圾, 我国采用的主要处理方式仍是传统的填埋处理或露天堆放等, 由此带来严重的环境问题。因此, 如何科学、合理的处理建筑垃圾成为城市建设中亟待解决的问题。

对于建筑垃圾的处理来说, 除了对处理方式进行经济上的考量外, 最重要的是, 要关注垃圾处理方式对环境的影响, 以及对资源的消耗等问题。目前, 多数学者在研究此类问题时都采用定性的分析^[1], 缺乏定量数据作为支撑。已有的定量研究也大多集中在整个建筑物生命周期的环境影响^[2], 建筑垃圾只是其中一个部分^[3]; 或者针对某一种建筑垃圾的处理工艺^[4], 少见不同建筑垃圾处理方式对环

境影响的比较研究。本文从全生命周期的角度考察不同垃圾处理方式对环境的影响, 提出资源消耗指数的综合量化计算方法, 从而为合理利用建筑垃圾提供依据。

生命周期评价(life cycle assessment, LCA)是研究从原材料获取到生产、使用和报废等整个生命周期对环境的影响的方法。根据 ISO 14040 标准定义的理论框架, LCA 评价过程包括目的与范围的确定(goal and scope definition, GSD)、清单分析(life cycle inventory, LCI)、影响评价(life cycle impact assessment, LCIA)和结果解释(interpretation)四个部分组成^[5]。

1 评价对象与范围

以 1 t 建筑垃圾处理为研究对象, 定义处理 1 t 建筑垃圾为基本功能单位。通过比较不同垃圾处理方式环境行为

基金项目: 住房和城乡建设部软科学研究项目“建筑固体废弃物生态化管理及实现路径研究”(2011-K6-22)

作者简介: 曾晖(1969~), 女, 四川成都人, 博士, 副教授, 研究方向为工程项目管理及建筑经济。

的差别,对建筑垃圾处理的资源消耗进行环境负荷评价,从而达到分析垃圾处理改进的方向。

建筑垃圾处理主要包括垃圾拆除和运输、垃圾处理两个阶段。消耗的资源包括:主要作业机械和垃圾处理消耗的燃料、电力、钢材等所需的原油、煤、铁矿石等自然资源;垃圾填埋处理消耗的土地资源。建筑垃圾处理生命周期评价范围如图1所示。

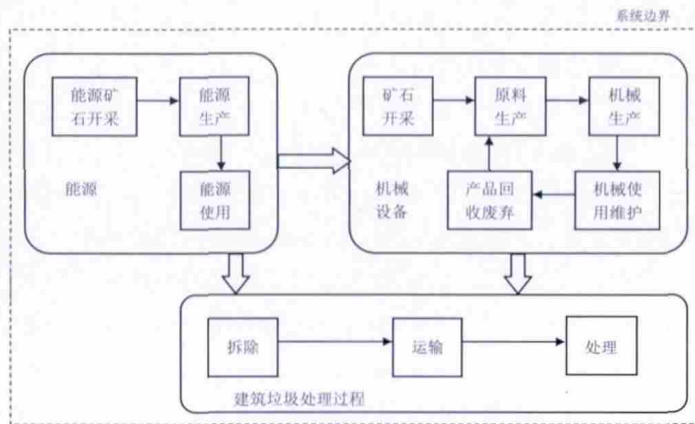


图1 建筑垃圾处理生命周期评价范围

2 清单分析

生命周期清单分析(life cycle inventory, LCI)是对一种产品、工艺和活动在其整个生命周期内的能源与原料消耗(输入),以及对环境的排放(输出)进行以资料为基础的客观量化过程^[6]。要得到建筑垃圾处理详细的清单数据,需要大量的调研工作。目前国内数据较少,本文研究所用的数据部分采用国内研究成果,部分根据相关公式计算得出。

清单分析采用的方法为矩阵表达式^[7],其基本公式为:

$$g = B \cdot A^{-1} \cdot f \quad (1)$$

其中, g 表示资源消耗矩阵; B 为交互矩阵,表示系统内与环境有关的输入与输出,本文主要包括对自然资源的消耗(输入); A 为技术矩阵,表示能直接应用于经济系统的物质的输入与输出,如燃料、电力、钢材等; f 为需求产品向量。

另外,为方便计算,通常将交互矩阵 B 和技术矩阵 A 合并为过程矩阵 P ,其表达式为:

$$P = \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.1 建筑垃圾拆除及运输阶段

根据过程分析原理及建筑垃圾处理生命周期评价范围(见图1),这里将建筑垃圾拆除及运输阶段清

单分析单元过程划分为:燃料、电力、钢材、人工拆除、机械拆除、场地清理、运输。各单元过程之间的相互关系如图2所示。

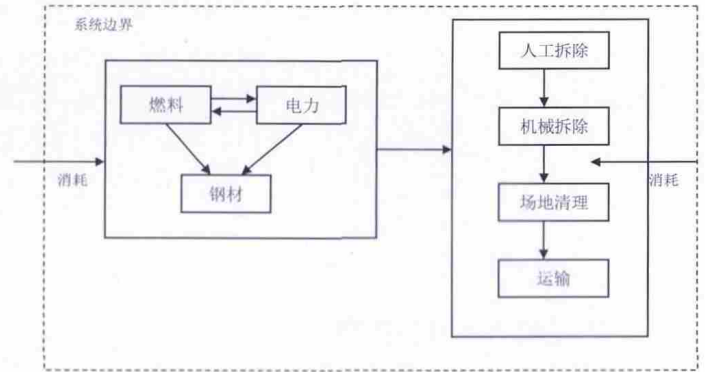


图2 建筑垃圾拆除运输系统过程流程图

从图2中可以得到系统中单元过程包括燃油、电力、钢材、人工拆除、机械拆除、场地清理和运输(按100 km计算)。这些单元过程的资源消耗和环境排放包括原油、原煤、生铁、石灰石。则过程向量为(相对于第*i*个单元过程的单位量):

$$P_i = (\text{燃料/kg} \quad \text{电力/kW} \quad \text{钢材/t} \quad \text{人工拆除/t} \quad \text{机械拆除/t} \quad \text{场地清理/t} \quad \text{运输/t} \quad \text{原油/kg} \quad \text{原煤/kg} \quad \text{生铁/kg} \quad \text{石灰石/kg}) \quad (3)$$

过程矩阵 P 为:

$$P = (P_1 \quad P_2 \quad \cdots \quad P_7) \quad (4)$$

过程矩阵的计算结果如表1所示(交互矩阵部分单位为g)。

由于本阶段最终的目的是运输1 t垃圾,所以最终需求向量为:

$$f = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1] \quad (5)$$

将其带入式(1),则计算得到最终结果如表2所示。

2.2 垃圾处理阶段

本文将垃圾处理分为三种方式:回收利用、资源化利用和垃圾填埋。回收利用指建筑物拆除后可直接利用,或

表1 建筑垃圾拆除运输系统过程矩阵计算结果

	燃料 kg	电力 kW	钢材 kg	人工拆除 t	机械拆除 t	场地清理 t	运输 t
燃料	1	-0.003	-0.08	-1.3	-0.7	-3	-1.3
电力	-0.06	1	-4	-0.5	-1.5	-0.3	-0.5
钢材	—	—	1	-0.01	—	-0.05	-0.01
人工拆除	—	—	—	1	-1	—	—
机械拆除	—	—	—	—	1	-1	—
场地清理	—	—	—	—	—	1	-1
运输	—	—	—	—	—	—	1
原油	1300	—	—	—	—	—	—
原煤	130	0.5	—	—	—	—	—
生铁	—	—	1500	—	—	—	—
石灰石	—	—	1700	—	—	—	—

表2 建筑垃圾拆除运输系统清单分析结果(g/t)

资源	原油	原煤	生铁	石灰石
数量	6529	656	90	102

经过简单加工即可利用 ;资源化利用指拆除的建筑垃圾需要按照一定的加工工序加工完成后才能使用 ;垃圾填埋不考虑建筑垃圾的利用,直接填埋。其中回收利用的步骤包括简单加工、运输(按 100 km 计算)两个阶段 ;资源化利用包括初次加工、二次加工和运输三个阶段 ;填埋只考虑填埋操作一个阶段。回收利用和资源化两种方式的运输阶段指从加工厂运输到利用点 ;这两种利用方式均不包括垃圾处理后的利用环节的资源消耗。依据上述过程矩阵的计算方法,并参考相关文献数据^[8],垃圾处理阶段的清单分析结果见表 3 所示。

3 环境影响评价模型

3.1 环境影响评价步骤

在清单分析结果的基础上,本文将建筑垃圾生命周期的环境影响类型划分为土地资源占用(LUP)和不可再生资源消耗(ADP)两类。本文在计算影响类型的特征化值的基础上,采用加权的方法计算出资源消耗指标。清单结果的分配和评价流程如图 3 所示。

上述步骤包括 :

(1) 计算影响类型特征化值。

分别求出各影响类型的特征化因子(见 3.2),并按公式(6)求出特征化值。

$$IR_j = \sum_i m_i \times CF_{j,i} \quad (6)$$

其中, IR_j 为第 j 种环境影响类型的特征化结果 ; m_i 为第 i 种物质的数量 ; $CF_{j,i}$ 为第 i 种物质的第 j 种影响类型特征化因子。

(2) 归一化与计算权重。

当各影响类型的基准值后,可按公式(7)进行归一化。

$$IR_{j,r} = \sum_i m_{i,r} \times CF_{j,i} \quad (7)$$

$$N_IR_j = \frac{IR_j}{IR_{j,r}} \quad (8)$$

其中, $IR_{j,r}$ 为第 j 种环境影响类型的特征化基准值 ; N_IR_j 为第 j 种环境影响类型的归一化值。

(3) 加权。

按公式(9)加权得到最终结果,即资源消耗指数。

$$EI = \sum w_j N_IR_j \quad (9)$$

其中, EI 表示总的环境影响指数 ; w_j 为第 j 种环境影响类型的权重 ; N_IR_j 表示归一化值。

3.2 特征化因子的计算

本文将资源类型分为两类来考虑 :

(1) 土地资源占用(LUP)。

土地资源占用的特征化模型很少,ISO 指导手册里仅有推荐方法^[9]。理论上,衡量土地资源的占用影响时,主要考虑由土地使用时的影响和使用完成后不能恢复到最初状态的影响叠加而成。就建筑垃圾填埋场来说,垃圾填埋的时候要占用土地,垃圾填埋之后也不可能恢复到以前的用地,但可以恢复到其他诸如景观用地等,所以垃圾填埋的土地只能是部分恢复。本文的LUP按公式(10)计算得出。

$$RLU = (FLU_u + FLU_t) \times A \quad (10)$$

其中, FLU_u 为土地使用的特征化因子 ; FLU_t 为土地转变的特征化因子 ; A 为土地使用面积。

(2) 不可再生资源消耗(ADP)。

不可再生资源指矿石资源,如煤、石油、铁矿等。这些资源的共同特点就是储量有限,且一经消耗便不再恢复。计算不可再生资源的特征化因子方法很多,本文采用Guinee的计算方法^[10],基本公式如下 :

$$ADP_i = \frac{DR_i}{R_i^2} \times \frac{R_f^2}{DR_f} \quad (11)$$

式中, DR_i 表示第 i 种资源的年开采量 ; R_i 表示第 i 种资源的年储量 ; DR_f 表示参考资源的年开采量(一般以铍为参考资源) ; R_f 表示参考资源的储量。

参考相关文献数据^[11-12],并按上述公式计算得出本文资源消耗的特征化因子,结果见表 4。

3.3 归一化与权重的计算

归一化基准值的选定影响归一化后的数据含义,其值一般可以在同一空间范围内选择基准值、不同空间范围内选择基准值或时间水平上选择。本文资源影响类基准值取国内范围内的数据作为基准值。其中,不可再生资源(ADP)选择铍的金属储量作为基准值,并按人均水平计算。土地资源消耗(LUP)采用人均建筑用地作为基准值。建筑垃圾各种影响类型的归一化基准值见表 4。

表 3 垃圾处理阶段清单分析结果

垃圾处理方式	自然资源 (g/t)				土地资源 m ² /t
	原油	原煤	生铁	石灰石	
回收利用	3931	394	105	119	—
资源化利用	4588	460	180	204	—
垃圾填埋	2342	234	15	17	0.15

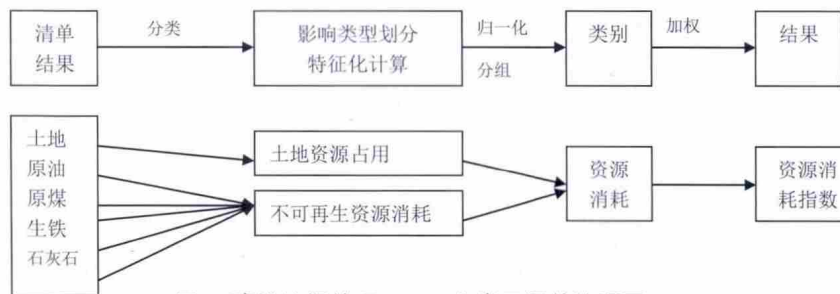


图 3 建筑垃圾处理 LCIA 分类及评价流程图

表 4 建筑垃圾影响类型归一化基准值与权重值

影响类型	物质	特征化因子		归一化基准值		权重
		值	单位	值	单位	
土地资源消耗	土地	1.5	m ²	1.31E+02	m ² a	0.18
不可再生资源	铁矿	2.97E-05	kg 锑当量/kg	1.89E+00	kg Sb /a	0.72
	石灰石	5.06E-06				
	原油	2.51E-06				
	原煤	1.25E-06				

表 5 某建筑物拆除建筑垃圾组成及数量(单位 :t)

组成	混凝土	钢材	木材	砌块	玻璃	总计
数量	4500	160	15	750	6	5431

表 6 不同垃圾处理方式的环境影响结果

垃圾处理	影响类型	特征化	归一化	环境影响指数
回收利用	LUP	0.00E+00	0.00E+00	2.91E-02
	ADP	7.65E-02	4.05E-02	
资源化	LUP	0.00E+00	0.00E+00	3.82E-02
	ADP	1.00E-01	5.31E-02	
填埋处理	LUP	2.55E+01	1.95E-01	4.89E-02
	ADP	3.64E-02	1.93E-02	

影响值大小相同，并不表示两者的潜在环境影响同样严重^[13]。因此，需要计算权重来比较两种不同环境类型影响本身的重要性。若归一化后的建筑垃圾环境影响值再经过加权计算，则可得到各种影响类型值的实际大小(重要性)。权重的确定通常采用目标-距离法、货币法或专家打分法。本文采用专家打分法计算得到权重值，结果见表4所示。

4 案例研究

案例模型是广州地区某典型的板式6层住宅，建筑面积约为4500 m²，钢筋混凝土框剪结构。拆除的各种建筑垃圾数量如表5所示。代入环境影响评价模型，计算结果见表6

从表6可以看出，填埋处理的环境影响指数最大，其次是资源化，回收利用的环境影响最小。更进一步分析，可以得到：在归一化值中，土地消耗的值最大，这造成了填埋处理的环境影响达到了最大。另外，资源化的不可再生能源(ADP)消耗最多。综上所述，建筑垃圾处理中最优的是回收利用，最差的是填埋处理。但回收利用建筑垃圾涉及到建筑物的设计和原材料的构成等一系列问题，目前并不适合大规模展开。当务之急是如何实现建筑垃圾资源化，并在资源化的同时降低由于垃圾资源化所消耗的资源(ADP)，从而促进垃圾资源化的科学、合理的发展。

5 结论

在评价资源消耗时，引入资源消耗指数的概念，收集了一些资源消耗的基础数据，按照生命周期评价的框架、模型和步骤进行资源消耗的计算。建筑垃圾生命周期综合评价方法是可以全面的、定量的评价建筑垃圾处理对环境

的影响的。

对广州地区一栋典型建筑物拆除的建筑垃圾计算表明，填埋处理的资源消耗最高(4.98E-02)，其次是资源化(3.82E-02)和回收利用(2.91E-02)。其中，土地资源消耗的值最大，这表明垃圾处理中对土地资源的消耗不可忽略，应尽量避免填埋处理这种对土地消耗比较大的处理方式。另外，受于目前条件限制，大范围的推广回收利用也不太现实。因此，科学、合理的进行建筑垃圾资源化利用，是今后比较适合的垃圾处理之路。

目前建筑垃圾的生命周期评价研究工作尚处于探索阶段，在基础数据的搜集、环境影响模型等方面的研究还需要进一步深入，这是下一步研究的工作方向。

参考文献：

[1]杨子江. 建筑垃圾对城市环境的影响及解决途径[J]. 城市问题, 2003(4): 60~63.

[2]谷立静. 基于生命周期评价的中国建筑行业环境影响研究[D]. 北京:清华大学, 2009.

[3]顾道金, 朱颖心, 谷立静. 中国建筑环境影响的生命周期评价[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2006(12): 1953~1956.

[4]龚志起, 丁锐, 陈柏昆, 等. 基于生命周期评价的废弃混凝土处理系统评估[J]. 建筑科学, 2012(3): 29~33.

[5]International Standardization Organization, Standard 14040: Environmental Management Life Cycle Assessment: Principles and Framework [S]. 1997.

[6]International Standardization Organization, Standard 14041: Environmental Management Life Cycle Assessment: Life Cycle Inventory Analysis [S]. 1997.

[7]Heijungs R, Suh S. The Computational Structure of Life Cycle Assessment [M]. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 2002: 11-30.

[8]王洁. 苏州多层住宅生命周期评价[D]. 苏州:苏州科技大学, 2010.

[9]Guinée J B. Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards [M]. Dordrecht, Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.

[10]Van Oers L, De Koning A, Guinée J B, et al. Abiotic Resource Depletion in LCA: Improving Characterization Factors Abiotic Resource Depletion as Recommended in the New Dutch LCA Handbook [R]. RWS-DWW Report, 2002.

[11]国家能源局. 中国能源统计年鉴2011[M]. 北京:中国统计出版社, 2012.

[12]《中国矿业》杂志社. 中国矿业年鉴2011[M]. 北京:地震出版社, 2012.

[13]杨建新, 王如松, 刘晶茹. 中国产品生命周期影响评价方法研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(2): 234~237.