

# 基于BP人工神经网络的建筑废料管理评价方法

董爱华, 闵洲源

(同济大学 经济与管理学院, 上海 200092)

**摘要:** 构建单一新建设工程项目(不包含拆除工程)的建筑废料管理评价指标体系, 概述基于BP人工神经网络评价方法的基本原理, 并详述基于BP人工神经网络的建筑废料管理评价模型的建立过程, 包括神经网络的建立、学习训练, 以及结果的检验等. 将该模型应用于实例检验, 得到较满意结果.

**关键词:** 人工神经网络; 建筑废料管理; 评价指标体系

**中图分类号:** TU 71

**文献标识码:** A

## Construction Waste Management Evaluation Model Based On BP Neural Networks

DONG Aihua, MIN Zhouyuan

(College of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The evaluation index system of construction waste management was built. An analysis is made of the superiority of the evaluation method based on artificial neural networks in combination with a case study of construction waste management evaluation. The developing of a green construction evaluation model is discussed in detail, and then the model is applied to an evaluation of a project and a satisfactory effect is obtained.

**Key words:** artificial neural networks; construction waste management; evaluation index system

方和承包商, 在政府的相关法律、法规、条例的指导下, 依据项目实际情况, 在项目策划阶段, 编制建筑废料管理计划. 经政府相关管理部门批准后, 在项目建设过程中贯彻实施该计划, 同时接受相关管理部门的监督, 并在项目竣工后提交建筑废料管理报告. 通过这一系列活动, 回收利用建筑资源, 减少填埋处理的废料, 进而达到减少浪费、防止污染、保护环境的目的. 目前, 国内外鲜见可供借鉴的建筑废料管理评价理论. 遴选建筑废料管理的评价方法很重要. 与层次分析法、模糊理论分析法等相比, 基于人工神经网络的评价方法, 是更接近于人类思维模式的定性和定量相结合的综合评价方法<sup>[3]</sup>, 具有显著的优越性. 具体为: ①建筑废料管理的评价综合性强, 各种因素相互影响, 存在着复杂的非线性关系. 基于人工神经网络的评价方法具有神经网络自组织、自适应能力, 能全面反映指标间的非线性关系, 避免评价过程中的人为因素及模糊随机性的影响<sup>[4]</sup>. ②具有较强的容错能力及泛化功能, 能够处理有噪声或不完整的数据. ③具有较强的自学习能力, 通过学习新的样本, 可使网络的知识、经验更丰富, 评价结果更科学、准确. 因此, 笔者采用BP人工神经网络, 对建筑废料管理进行评价研究.

## 1 评价指标体系的构建

建筑废料管理评价从管理规范性和实施有效性两方面进行. 规范性是有效实施建筑废料管理的重要基础, 包括组织、资金、计划、培训等管理要素的规范化. 实施有效性是建筑废料管理实现预定目标、取得良好成果的重要保障. 通过问卷调查的形式, 向建筑管理领域的专家学者和建筑行业(主要为建筑施工行业和建筑管理咨询行业等)的资深从业人员广

建筑的建造过程产生大量的建筑废料. 国外经验数据表明, 就房屋建筑而言, 产生的建筑废料约为 $20\sim 40\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ <sup>[1]</sup>. 建筑废料引发占用大量土地、环境污染、资源浪费等问题. 我国工业城市建筑废料处理的最主要方式是卫生填埋, 约占全部处理量的70%以上<sup>[2]</sup>. 美国加利福尼亚州建筑废料管理法案(1999)对建筑废料管理的定义为: 建设项目的业主

收稿日期: 2008-10-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70302015)

作者简介: 董爱华(1981—), 男, 讲师, 管理学博士, 主要研究方向为建设工程管理. E-mail: aihuasemail@163.com

闵洲源(1982—), 女, 硕士生, 主要研究方向为建设工程管理. E-mail: catherine\_yuanr@hotmail.com

泛征求意见,构建一个体系较科学完整、指标较精炼实用、以单一新建工程项目(不包含拆除工程)的建筑废料管理活动为评价对象的评价指标体系(见表1).该指标体系由评价目标、7个一级指标和19个二级指标构成.

表1 建筑废料管理评价指标体系

Tab.1 Evaluation index system of construction waste management

评价目标	一级指标	二级指标
管理规范性	基础管理 $U_1$	1. 管理组织 $V_{11}$
		2. 管理计划 $V_{12}$
		3. 管理资金 $V_{13}$
	延伸管理 $U_2$	4. 管理培训 $V_{21}$
		5. 管理科研 $V_{22}$
	流程类 $U_3$	6. 处理流程 $V_{31}$
7. 处理操作 $V_{32}$		
实施有效性	方法类 $U_4$	8. 分类 $V_{41}$
		9. 回收 $V_{42}$
		10. 回收再用 $V_{43}$
	资源类 $U_5$	11. 循环利用 $V_{44}$
		12. 填埋处理 $V_{45}$
		13. 管理人员 $V_{51}$
	财务类 $U_6$	14. 转运机械 $V_{52}$
		15. 回收站(箱) $V_{53}$
		16. 管理成本 $V_{61}$
	安全类 $U_7$	17. 销售收益 $V_{62}$
		18. 管理操作安全 $V_{71}$
		19. 处理环境安全 $V_{72}$

## 2 基于BP人工神经网络的建筑废料管理的评价模型

### 2.1 基本原理

采用具有多输入单输出的三层BP神经网络作为评价模型,其拓扑结构如图1所示.

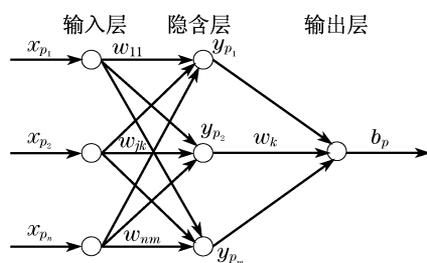


图1 三层BP神经网络拓扑结构

Fig.1 Three-layer BP neural network topology

图1中, $n$ 表示输入节点数,即评价指标数; $m$ 表示隐含层节点数目; $x_p$ 为第 $p$ 个样本的评价指标

向量,记为  $x_p = \{x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pn}\}$ ;  $w_{jk}$  ( $j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m$ )为输入层第 $j$ 节点到隐含层第 $k$ 节点的连接权值; $y_{pk}$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ )为样本 $p$ 的隐含层第 $k$ 节点的输出; $w_k$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ )为隐含层第 $k$ 节点到输出层的连接权值; $b_p$ 为样本 $p$ 的输出.

每个节点的输出与输入之间的非线性关系用Sigmoid函数描述,即

$$f(x) = (1 + \exp(-x))^{-1}$$

隐含层样本 $p$ 的输出按下式计算,式中 $\theta_k$ 表示隐含层节点 $k$ 的偏置值:

$$y_{pk} = f\left(\sum_{j=1}^n w_{jk}x_{pj} - \theta_k\right), \quad k = 1, 2, \dots, m$$

输出层样本 $p$ 的输出按下式计算,式中 $\theta$ 表示输出层输出节点的偏置值:

$$b'_p = f\left(\sum_{k=1}^m w_k y_{pk} - \theta\right)$$

BP网络的学习训练是一个误差反向传播与修正的过程,定义 $h$ 个样本的实际输出 $b'_p$ 与期望输出 $b_p$ 的总误差函数  $E = \sum_{p=1}^h (b'_p - b_p)^2 / 2$ .故神经网络对样本的学习过程,就是选取适当的训练函数<sup>[2]</sup>使 $E$ 极小化的过程.从输入层向输出层计算,输入已知的学习样本,可按上面的公式计算每一层神经元的输出;若输出层结果的误差不满足精度要求,则再从输出层向输入层计算,修改连接权值和偏置值.两过程反复交替,直到满足精度要求.

### 2.2 模型的建立

通过问卷调查,获取不同专家对各指标重要性评判的信息,采用利克特5级量表法,根据各评价指标重要性的得分,计算出权重系数,从而得到不同专家对建筑废料管理评价指标体系各指标权重的判断.通过编写计算机程序,随机生成30组项目的评价指标评价值,任意指标的评价值取5,4,3,2和1,分别代表优秀、良好、一般、及格和不及格.依据专家对指标权重的判断,计算出项目的专家评价值.对任一项目,去除偏离过大的专家评价值后,对剩余全部专家评价值取算数平均数,得到该项目的综合评价值(见表2).

基于BP人工神经网络的建筑废料管理评价模型的算法实现过程为:①确定BP网络结构参数,即各层神经元节点数.采用图1所示3层BP网络结构,输入层为各评价指标值,共19个神经元.根据经验优化关系,计算隐含层节点数  $L = (qn)/2$  ( $L$ 表

示隐含层节点数,  $n$  表示输入层节点数,  $q$  表示输出层节点数), 确定隐含层节点数为 9. 输出层只有一个神经元, 是一个代数值, 取值范围是  $[1, 5]$ , 表示对建筑废料管理综合评价的结果. 分值越高, 表示该项目建筑废料管理的水平越高. ②以 Matlab 为工具, 建立一个输入层、隐含层、输出层神经元节点数分别为 19, 9, 1 的人工神经网络, 选用 trainscg 训练函数、初始化网络的权值和阈值, 设置网络学习精度为  $10^{-6}$ . ③将表 2 中前 24 组数据, 以及 a, b 这 2 组边界限定样本数据(见表 3)作为学习样本, 输入网络, 启动网络进行学习训练. 通过不断执行迭代过程, 至满足学习精度为止, 得到较为准确表示内部的神经网络, 即合适的输入与输出之间的非线性映射关系. 经学习

训练后的网络输出结果见表 4, 接近期望输出. 网络训练结果如图 2, 运用 trainscg 函数对网络进行训练, 经 2 912 次训练, 网络收敛, 达到预定学习精度  $10^{-6}$ . ④将表 2 中后 6 组数据作为校验数据输入训练好的神经网络, 得到综合评价结果(见表 5). 可见, 由神经网络得到的输出值与期望值(项目综合评定值)之间的最大误差为 0.57%, 平均误差为 0.21%. 综合评价结果与专家评价结果基本一致, 说明得到的神经网络所反映的输入与输出之间的关系是正确的, 可以有效地应用于建筑废料管理的评价. ⑤将训练好的神经网络存入文件, 当遇到建筑废料管理的评价问题时, 只需输入待评价项目的指标得分矩阵, 启动网络, 即可得到评价结果.

表 2 网络训练样本数据表  
Tab.2 Network training sample data sheet

项目 编号	二级指标																		综合 评价	
	V <sub>11</sub>	V <sub>12</sub>	V <sub>13</sub>	V <sub>21</sub>	V <sub>22</sub>	V <sub>31</sub>	V <sub>32</sub>	V <sub>41</sub>	V <sub>42</sub>	V <sub>43</sub>	V <sub>44</sub>	V <sub>45</sub>	V <sub>51</sub>	V <sub>52</sub>	V <sub>53</sub>	V <sub>61</sub>	V <sub>62</sub>	V <sub>71</sub>		V <sub>72</sub>
1	1	1	5	1	1	5	1	2	5	5	4	3	5	3	4	5	3	5	4	3.363 5
2	4	2	5	5	5	1	1	3	5	3	3	3	4	4	1	3	3	4	5	3.386 4
3	4	2	4	5	2	4	3	2	5	1	1	1	2	5	5	5	3	4	4	3.227 4
4	1	1	1	1	3	5	4	2	1	1	3	5	1	2	3	5	2	5	4	2.647 4
5	2	4	4	1	5	1	5	5	3	5	1	1	3	2	4	2	4	3	3	3.093 3
6	4	1	2	4	3	4	1	1	3	4	2	4	4	5	4	2	3	3	3	2.935 9
7	3	5	2	3	1	2	2	3	4	4	3	1	2	1	5	3	3	5	3	2.933 7
8	3	5	4	3	4	2	2	4	5	1	4	1	4	1	3	5	3	4	3	3.281 6
9	5	3	1	4	5	1	5	1	3	5	5	5	1	3	3	1	1	4	5	3.181 2
10	1	2	1	4	4	4	4	4	3	3	4	1	3	3	5	4	4	3	1	3.043 3
11	3	1	1	4	3	5	4	3	5	1	4	4	3	3	5	2	3	1	3	2.984 3
12	1	3	5	1	5	5	4	1	1	3	1	2	3	3	4	5	5	2	3	3.031 8
13	4	1	4	2	3	1	2	4	5	4	2	1	1	1	1	5	4	5	3	2.899 9
14	5	4	1	1	1	5	3	1	3	2	2	5	2	2	1	2	3	1	1	2.353 1
15	5	5	2	4	1	2	5	2	1	1	3	2	2	1	3	3	5	2	5	2.838 5
16	5	5	1	1	3	5	5	1	2	1	4	1	2	4	1	5	4	2	3	2.935 5
17	3	3	4	2	1	2	5	1	1	3	3	3	3	5	1	1	4	2	3	2.582 7
18	1	3	4	5	1	3	4	3	2	4	2	1	4	2	4	3	3	1	3	2.756 6
19	4	4	5	5	2	4	2	1	5	1	3	5	2	5	1	4	3	1	1	3.007 1
20	4	1	2	2	1	4	5	5	5	1	3	4	4	2	3	4	1	1	1	2.744 8
21	1	3	5	4	2	1	1	3	1	1	2	2	5	2	4	4	2	2	4	2.562 3
22	1	3	1	3	5	3	5	1	1	2	1	3	1	2	3	3	4	5	2	2.565 1
23	2	3	3	1	5	3	3	1	3	5	1	5	3	2	2	2	3	1	2	2.633 6
24	2	4	2	2	3	2	2	2	4	2	5	5	2	1	3	2	2	3	4	2.757 3
25	2	2	1	1	4	4	1	3	5	3	1	2	3	2	2	1	4	4	1	2.454 6
26	4	5	1	1	2	3	4	1	1	2	4	2	5	1	5	5	2	2	1	2.673 7
27	5	4	4	4	4	3	2	3	1	4	2	4	4	4	3	1	4	3	1	3.118 4
28	1	5	1	1	5	1	2	5	5	4	3	5	3	4	5	3	5	4	4	3.496 0
29	1	5	5	4	1	1	3	5	2	3	3	4	4	5	2	3	4	4	4	3.294 1
30	3	4	1	3	5	4	3	1	2	2	2	3	1	5	1	4	5	5	2	2.961 6

表 3 边界限定样本数据  
Tab.3 Boundary limit sample data

项目 编号	二级指标																		综合 评价价值	
	V <sub>11</sub>	V <sub>12</sub>	V <sub>13</sub>	V <sub>21</sub>	V <sub>22</sub>	V <sub>31</sub>	V <sub>32</sub>	V <sub>41</sub>	V <sub>42</sub>	V <sub>43</sub>	V <sub>44</sub>	V <sub>45</sub>	V <sub>51</sub>	V <sub>52</sub>	V <sub>53</sub>	V <sub>61</sub>	V <sub>62</sub>	V <sub>71</sub>		V <sub>72</sub>
a	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
b	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

表 4 神经网络训练结果  
Tab.4 Results of the neural network training

结果	项目编号											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
训练结果	3.364 3	3.386 1	3.228 1	2.647 2	3.094 0	2.934 3	2.932 9	3.281 3	3.181 9	3.043 9	2.985 6	3.030 6
期望输出	3.363 5	3.386 4	3.227 4	2.647 4	3.093 3	2.935 9	2.933 7	3.281 6	3.181 2	3.043 3	2.984 3	3.031 8
结果	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
训练结果	2.899 5	2.355 7	2.838 4	2.935 5	2.582 8	2.756 2	3.006 8	2.743 2	2.564 1	2.565 1	2.634 2	2.755 8
期望输出	2.899 9	2.353 1	2.838 5	2.935 5	2.582 7	2.756 6	3.007 1	2.744 8	2.562 3	2.565 1	2.633 6	2.757 3

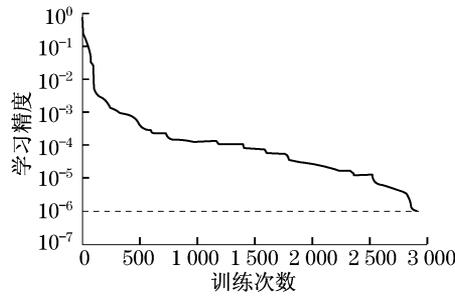


图 2 网络训练结果

Fig.2 Results of the network training

表 5 网络测试结果

Tab.5 Results of the network testing

结果	项目编号					
	25	26	27	28	29	30
训练结果	2.459 2	2.671 2	3.136 2	3.498 9	3.311 0	2.962 1
期望输出	2.454 6	2.673 7	3.118 4	3.496 0	3.294 1	2.961 6
相对误差/%	0.19	-0.09	0.57	0.08	0.51	0.02

表 6 上海市某高校教学科研综合楼建筑废料管理评价指标得分表

Tab.6 Scores of construction waste management evaluation index of teaching and research building of a Shanghai university

指标	V <sub>11</sub>	V <sub>12</sub>	V <sub>13</sub>	V <sub>21</sub>	V <sub>22</sub>	V <sub>31</sub>	V <sub>32</sub>	V <sub>41</sub>	V <sub>42</sub>	V <sub>43</sub>	V <sub>44</sub>	V <sub>45</sub>	V <sub>51</sub>	V <sub>52</sub>	V <sub>53</sub>	V <sub>61</sub>	V <sub>62</sub>	V <sub>71</sub>	V <sub>72</sub>
评价价值	3	3	2	1	1	2	3	4	3	4	3	4	3	4	1	4	2	5	5

将表 6 的数据输入保存的神经网络模型,经网络计算,得到该项目建筑废料管理的综合评价得分为 3.036 6.表明该项目的建筑废料管理总体水平一般.该评价结果经该项目的项目经理和总监理工程师确认,基本符合项目的实际情况.证明基于 BP 人工神经网络的评价模型可以有效地应用于建筑废料管理评价的实践.

### 3 案例分析

上海市某高校教学科研综合楼工程位于该校东北角.为降低对周围环境的影响,采取一些针对性的措施治理施工造成的空气污染和水污染、处理建筑废料,取得了一定的效果.但由于施工单位的废料管理意识不强,并没有建立专职的废料管理组织和编制专项的废料管理计划,以及为废料的分类、回收、利用与处理设计专门的流程和方案.

现对项目的各项评价指标做出评判.由于各评价指标中定性因素较多,因此,采用专家评判方法,对各个指标从优至劣划分优秀、良好、一般、及格和不及格 5 个等级,分别给以 5,4,3,2 和 1 分.该项目的各项评价指标得分见表 6.

### 4 结语

基于 BP 人工神经网络的建筑废料管理评价模型,通过神经网络提炼,反映了各个建筑废料管理评价指标与综合评价结果之间复杂的非线性关系,降低了建筑废料管理评价过程中的主观因素影响,是

解决建筑废料管理评价问题的有效方法. 经实践检验,该模型应用于建筑废料管理的评价,可以取得较满意的结果.

#### 参考文献:

- [1] Erik K. Lauritzen. 建设与建筑物拆除废物再循环的经济效益与环境效益[J]. 产业与环境, 1995, 17(2): 26.  
Erik K. Lauritzen. The economic and environmental benefits of recycling of construction and demolition waste[J]. Industry and Environment, 1995, 17(2): 26.
- [2] 陆凯安. 我国建筑垃圾的现状与综合利用[J]. 施工技术, 1999, 28(5): 44.  
LU Kaian. Status and comprehensive utilization of refuse produced from construction and removal of buildings in China [J]. Construction Technology, 1999, 28(5): 44.
- [3] 潘大丰, 李群. 神经网络多指标综合评价方法研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 1999, 15(2): 105.  
PAN Dafeng, LI Qun. Study on the multi-index comprehensive evaluation method of artificial neural network [J]. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 1999, 15(2): 105.
- [4] XIA Yuanou, XIE Yanming, ZHU Ruigeng. An engineering geology evaluation method based on an artificial neural network and its application[J]. Engineering Geology, 1997, 47: 149.
- [5] LEE Hahnming, CHEN Chihming, HUANG Tzongching. Learning efficiency improvement of back-propagation algorithm by error saturation prevention method[J]. Neurocomputing, 2001, 41: 125.
- [6] Forbes Mcdougall, Peter White, Marina Franke, et al. 城市固体废物废弃物综合管理——生命周期的视角[M]. 诸大建, 邱寿丰, 译. 上海: 同济大学出版社, 2006.  
Forbes Mcdougall, Peter White, Marina Franke, et al. Integrated waste management: a life cycle inventory [M]. Translated by ZHU Dajian, QIU Shoufeng. Shanghai: Tongji University Press, 2006.
- [7] 山本良一. 环境材料[M]. 王天民, 译. 北京: 化学工业出版社, 1997.  
Ryoichi Yamamoto. Environmental materials[M]. Translated by WANG Tianmin. Beijing: Chemical Industry Press, 1997.
- [8] 冯之浚. 循环经济导论[M]. 北京: 人民出版社, 2004.  
FENG Zhijun. Introduction to circular economy [M]. Beijing: People's Publishing House, 2004.
- [9] 庞永师, 杨丽. 建筑垃圾资源化处理对策研究[J]. 建筑科学, 2006, 22(1): 77.  
PANG Yongshi, YANG Li. Building rubbish reclamation management research[J]. Building Science, 2006, 22(1): 77.
- [10] Prado Verduga, Bolivar Fernando. Recycling of construction waste[D]. Calgary: University of Calgary, 2004.
- [11] Henry, Che L. Pollution prevention and demolition debris management in the construction industry[D]. New York: The Cooper Union for the Advancement of Science and Art, 2005.
- [12] 陈利, 陈卫, 孙玉梅. 香港特区对建筑垃圾的管理[J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2004, 29(2): 107.  
CHEN Li, CHEN Wei, SUN Yumei. Treatment of the building-construction wastes in Hongkong Special Zone [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology: Science and Technology, 2004, 29(2): 107.
- [13] 郑凯, 汝宜红, 任福民, 等. 建筑固体废物发生源管理研究[J]. 北京交通大学学报: 社会科学版, 2004, 3(1): 17.  
ZHENG Kai, RU Yihong, REN Fumin, et al. Research on source management of construction solid waste [J]. Journal of Beijing Jiaotong University: Social Sciences Edition, 2004, 3(1): 17.
- [14] 王家远, 康香萍, 申立银, 等. 建筑废料减量化管理措施研究[J]. 华中科技大学学报: 城市科学版, 2004, 21(3): 26.  
WANG Jiayuan, KANG Xiangping, SHEN Liying, et al. Study of construction waste minimization management [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Urban Science, 2004, 21(3): 26.
- [15] 王罗春, 赵由才. 建筑垃圾处理与资源化[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.  
WANG Luochun, ZHAO Youcai. Construction waste disposal and resource [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.