

基于 LM - BP 神经网络的高烈度区建筑结构经济性评价

徐文静¹, 王海飙², 张连营¹

(1. 中建安装集团有限公司, 南京 210000; 2. 东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 由于传统混凝土结构已不能满足建筑业可持续发展理念, 木结构建筑自重轻、绿色环保、抗震性能优越是高烈度区建筑结构的首选, 仅因为木结构初始建设成本高于传统混凝土结构, 使其发展受到经济因素的制约, 为使高烈度区的建筑结构选型决策更加经济、科学, 本文从建设成本、建设效益、建筑性能三个方面综合考虑建筑结构经济性能并建立评价指标体系, 同时引入 LM 算法改进 BP 神经网络模型, 对建筑结构经济性评价和结构选型决策进行实例验证。

关键词: 高烈度区; 建筑结构; 经济性评价; LM - BP 神经网络

中图分类号: U415.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008 - 3383(2022)08 - 0162 - 03

DOI: 10.16402/j.cnki.issn1008-3383.2022.08.030

Economic Evaluation of Building Structure Inhighly Seismic Region Based on LM - BP Neural Network

XU Wen-jing¹, WANG Hai-biao², ZHANG Lian-ying¹

(1. China Construction Industrial & Energetic Engineering Group CO. LTD, Nanjing 210000, China;

2. School of civil engineering, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

Abstract: In order to make the decision-making of building structures in high-intensity areas more economical and scientific, traditional concrete structures can no longer meet the concept of sustainable development of the construction industry. just because the initial construction cost of the wood structure is higher than that of the traditional concrete structure, its development is restricted by economic factors. This paper comprehensively considers the economic performance of the building structure from the three aspects of construction cost, construction benefit and building performance, and establishes an evaluation index system. At the same time, it introduces The LM algorithm improves the BP neural network model, and the economic evaluation of the building structure and the decision-making of the structure selection are verified by examples.

Keywords: highly seismic region; building structure; economic evaluation; LM - BP neural network

0 引言

我国抗震设防高烈度区住宅建筑在满足建筑结构安全性能要求上, 仅从提高传统的钢筋混凝土结构抗震设计已不能满足绿色环保、可持续发展的理念, 采取单一的抗震设计方法提高结构强度、刚度会带来建设成本的增加, 而地震造成的土木工程灾害并不能显著减轻^[1,2]。从抗震安全、社会环境效益等可持续发展角度分析木结构是高烈度区建筑结构首选, 但现有的文献研究中大多学者主要围绕木结构环保性展开, 缺少木结构与不同建筑结构的经济性比较^[3], 为客观地对不同建筑结构的经济性做出合理评价, 本文建立评价指标体系并利用 LM 算法改进传统 BP 神经网络建立评价模型, 为高

烈度区建筑结构选型的决策提供新方法, 同时为木结构推广提供经济可行性参考^[4,5]。

1 指标体系构建

建筑结构选型是一项受多种复杂因素影响的决策问题, 不同的结构类型在保证结构安全、满足抗震设防的前提下, 其经济效益、建筑性能存在一定差异, 建设项目决策者通常只专注一次性投资, 忽略建筑结构的间接经济效益和社会环境影响^[6,7]。本文综合考量不同建筑结构的建设成本和间接效益对建筑结构经济性影响, 将抗震韧性和建筑绿色度等作为建筑性能评价指标。选取高烈度区不同建筑结构类型进行数据收集, 并邀请行业专家对定性指标进行量化, 如表 1 所示。

收稿日期: 2022 - 02 - 14

• 162 •

表 1 建筑结构经济性评价指标体系

目标层	一级指标	二级指标	评价标准
建筑结构经济性评价	建筑性能 A1	抗震韧性 B11	I 级(9.5-8.5)II 级(8.5-7.5)III 级(7.5-6.5)IV 级(6.5-5.5) 给定水准下,维持与快速恢复建筑功能的能力
		建筑绿色度 B12	A 级(3.5-5.5)AA 级(5.5-7.5)AAA 级(7.5-9.5) 全生命周期内能源消耗及对环境污染
		建筑耐久性 B13	以主体结构确定的建筑耐久年限分下列四级:二级耐久年限 50~100 年适用于一般性建筑;根据现状评估
		建筑防火性 B14	耐火阻燃值(混凝土结构:钢结构:木结构=1:1.31:1.7) 低于混凝土结构(0.5-1);等同于混凝土结构(1-1.3); 高于混凝土结构(1.3-2)
	建筑成本 A2	主体成本 B21	主体结构造价元/m ²
		装修成本 B22	室内装修造价/m ²
		使用成本 B23	元/m ² ·年(供暖费、空调制冷费)
		维护费用 B24	元/年·m ²
		拆除费用 B25	元/m ²
	建设效益 A3	室内环境质量 B31	A 级(5.5-7)AA 级(7-8.5)AAA 级(8.5-9.5)
		回收利用率 B32	拆除后回收利用占比
		业主满意度 B33	低于混凝土结构(0.5-1)等同于混凝土结构(1-1.5)高于混凝土结构(1.5-2)
		得房率 B34	实际使用面积占比

2 LM-BP 神经网络评价模型构建

(1) 样本收集与数据处理

样本数据的选取是模型训练的关键,样本数据应反应出不同建筑结构类型的内在规律,以我国 8°~9° 抗震设防地区不同类型建筑结构来统计信息,对定性指标通过邀请专家打分进行量化,样本中评价结果依据 Delphi Method 得出^[8,9],有效样本数据一共 51 份,其中训练样本占 88%,测试样本和验证样本各占 6%,样本中包括传统的混凝土框架、剪力墙结构、木结构、组合结构等。由于评价指标具有不同的量纲和数量级,首先要对所有指标进行归一化处理,将输入层评价指标的属性值固定在一定范围内,使每一项影响因素在神经网络中具有相同的影响趋势,为加快 LM-BP 神经网络的收敛速度,输入层指标属性值范围为[0,1],归一化处理如下:评价方案中指标有成本型和效益型,令 m^1, M_i 分别

表示各样本中同一指标值的最值,为指标值的论域宽度,中点值 $M(d_i) = m_i + M^i/2$

则效益型:(10)

成本型:(11)

所建指标中建筑成本为成本型指标,归一化后指标值越小方案越优,其他为效益型指标,指标值越大方案越优。样本数据如表 3 所示。

(2) 设定网络结构

由评价指标确定输入层 13 个节点,输出层 1 个节点,隐含层节点数根据经验公式(12)其中 j, i 分别为输入、输出节点数量, a 为区间[0,10]的自然数,则隐含层节点数 c 取值范围为[4,14],输出结果等级划分如表 2 所示。

表 2 神经网络输出结果等级划分

评价等级	优	良	中	差
输出结果	4.5~3.5	3.5~2.5	2.5~1.5	1.5~0.5

表 3 部分样本数据

样本	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	评价结果
1	7.5	5	50	1	800	750	38	3	26	5.5	10%	1	82%	1.55
2	7.6	5.5	50	1	950	750	38	3	26	6.5	10%	1	85%	1.7
3	7.7	5.8	50	1	977	765	36.5	3	26	6.6	10%	1	82%	1.8
4	7.8	5.8	50	1	1 000	800	37	3	26	6.7	10%	1	85%	1.8
5	7.9	5.8	50	1	1 100	750	36	3	26	7	10%	1	85%	1.85
6	7.7	5.8	50	1	985	770	37	3	26	6.5	10%	1	85%	1.65
7	8	6.5	60	1	1 100	750	36.8	3	38	6.5	10%	1	80%	2.52
8	8	6.5	60	1	1 155	780	36.6	3	38	6.5	10%	1	82%	2.55

表 3 (续)

样本	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	评价结果
9	8	6.5	60	1.1	1 189	770	36.2	3	38	6.7	10%	1	80%	2.5
10	8	6.5	60	1.2	1 221	772	36	3	38	7.4	10%	1	80%	1.9
11	8	6.5	60	1.1	1 178	768	36.5	3	38	7.1	10%	1	81%	2.53
12	8	6.5	60	1.2	1 208	802	36	3	38	7.3	10%	1	80%	1.88
13	6.5	5.5	50	0.7	600	700	37.5	3	28	5.6	8%	0.5	80%	0.6
14	6.8	6	50	0.7	660	720	37.3	3	28	5.7	8%	0.5	80%	1.58
15	6.5	6	50	0.7	676	760	37.2	3	28	5.8	8%	0.5	82%	0.8
16	6.8	6	50	0.7	686	770	37	3	28	5.9	8%	0.5	82%	1.6
17	6	5.5	50	0.7	599	705	37.7	3	28	5.4	8%	0.5	80%	0.55
18	6.5	5.8	50	0.7	655	750	37.4	3	28	5.6	8%	0.5	80%	1.1
19	8.2	7.5	60	1.3	2 800	720	35	5	16	7.2	50%	1.2	85%	1.8
20	8.2	7.5	60	1.3	2 885	720	35	5	16	7.3	50%	1.2	85%	1.75

2.3 实例分析

基于 Matlab2016 对 LM-BP 建筑结构经济性评价模型进行网络训练及仿真,选用 trainseg 训练函数、初始化网络权值、阈值,网络学习精度设置为 10^{-4} 。训练后得到如图 1 所示的 LM-BP 神经网络训练样本、测试样本和验证样本的误差曲线图,三种样本的误差曲线在开始阶段下降速度较快,表明该模型泛化能力较强。为避免网络进入过拟合状态,该模型设定误差连续 5 步上升就停止训练。从图中可知确认样本、验证样本误差在第 9-14 步开始增大,而训练样本误差在 9-14 步之间仍继续降低,模型出现过拟合现象即停止仿真。图 2 中可以看出测试样本的输出值与实际值十分接近,预测相对误差如表 4 所示。

表 4 预测相对误差

相对误差	0.92%	1.19%	0.86%
测试样本实际输出	1.897 3	1.770 8	3.618 7
测试样本期望结果	1.88	1.75	3.65

3 结 论

根据建设成本与建设效益、建筑性能之间的相关性,科学地选取了具有代表性的二级指标,在专家评价以及实例调查的数据基础上运用数据挖掘建立了基于 LM-BP 神经网络的建筑结构经济性评价模型,从测试样本结果来看本文构建的 LM-BP 神经网络模型精确度较高,为高烈度区建筑结构选型经济合理性评价提供了智能化评价新方法。实例研究表明木-混合结构建筑优于传统混凝土建筑结构经济性,应深入对木结构以及木混合结构的成本与效益评价分析。

参考文献:

- [1] Omoregie, Alohan; English, Mark. Housing infrastructure: contemporary issues in timber adoption. proceedings of the institution of civil engineers - municipal engineer, 2017, 170, 4, 205-220.
- [2] 莫庸,金建民,杜永峰,等. 高烈度地震区建筑结构选型问题的初步探讨——5.12 汶川大地震陇南地区建筑结构震害考察中结构选型问题的思考[J]. 工程抗震与加固改造, 2008(4): 50-55.
- [3] 王超亮. 基于抗震烈度的高层住宅结构选型及经济性分析[D]. 中国石油大学(华东), 2015.

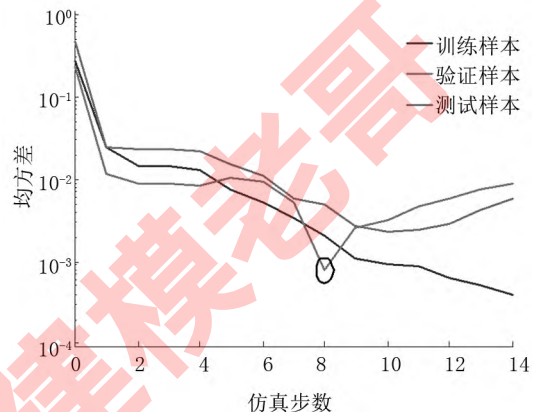


图 1 3 种样本误差曲线

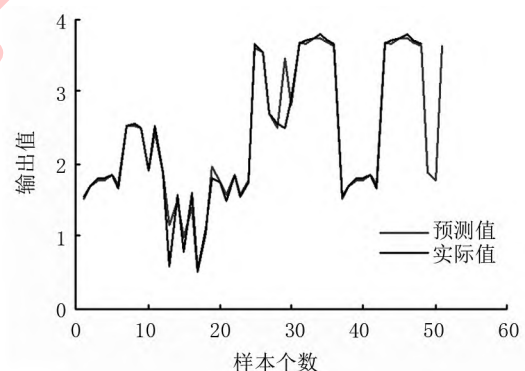


图 2 网络输出结果与真实值

- [4] 喻伟,李百战,杨明宇,等. 基于人工神经网络的建筑多目标预测模型[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, 43(12): 4949-4955.
- [5] 王全凤,郑浩. 基于径向基函数神经网络的高层建筑结构选型[J]. 四川建筑科学研究, 2010, 36(5): 18-21.
- [6] 贡金鑫,王幻. 经济发展与建筑结构的安全性[J]. 工业建筑, 2013, 43(7): 110-114.
- [7] 肖启荣. 基于全寿命周期成本的超高层建筑结构经济性研究[J]. 建筑技术, 2017, 48(8): 889-892.
- [8] 马庆涛,尚国珩,焦新颖. 基于 BP 神经网络的智慧城市建设水平评价研究[J]. 数学的实践与认识, 2018, 48(14): 64-72.
- [9] 董爱华,闵洲源. 基于 BP 人工神经网络的建筑废料管理评价方法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 146-150.