

# 基于 GA-BP 的工程总承包项目成本预测研究

朱剑钦<sup>1</sup>, 吴晓磊<sup>2</sup>, 池商铃<sup>3</sup>, 巫庆明<sup>4</sup>, 柯建平<sup>5</sup>

1. 福州建工集团有限公司, 福建 福州 350004

2. 中庆建设有限责任公司, 福建 福州 350004

3. 厦门第一建筑工程集团有限公司, 福建 厦门 361003

4. 厦门特房建设工程集团有限公司, 福建 厦门 361010

5. 福建省二建集团(厦门)有限公司, 福建 厦门 361011

**摘要:** 工程总承包模式缩短了建设项目周期, 提升了设计与施工协同效率。然而, 在工程总承包项目管理中, 超限额、超概算和亏损问题普遍存在, 传统的成本管理模式的已难以满足工程总承包模式的需求。本文根据总承包项目成本特点, 提出了一种基于遗传算法(GA)优化BP神经网络的成本预测方法, 通过构建GA-BP神经网络工程总承包项目成本预测模型, 并结合实际工程案例进行验证, 有效提高工程总承包项目成本预测的准确率。

**关键词:** 工程总承包; 成本预测; GA-BP神经网络

## Research on Cost Prediction of General Engineering Contracting Projects Based on GA-BP

Zhu Jianqin<sup>1</sup>, Wu Xiaolei<sup>2</sup>, Chi Shangqian<sup>3</sup>, Wu Qingming<sup>4</sup>, Ke Jianping<sup>5</sup>

1. Fuzhou Construction Engineering Group Co., LTD., Fuzhou, Fujian 350004

2. Zhongqing Construction Co., LTD., Fuzhou, Fujian 350004

3. Xiamen First Construction Engineering Group Co., LTD., Xiamen, Fujian 361003

4. Xiamen Special Housing Construction Engineering Group Co., LTD., Xiamen, Fujian 361010

5. Fujian Second Construction Group (Xiamen) Co., LTD., Xiamen, Fujian 361011

**Abstract:** The general engineering contracting model has shortened the construction project cycle and improved the efficiency of design and construction synergy. However, in the management of general contracting projects, the problems of over-limit, over-estimation and loss are common, and the traditional cost management mode has been difficult to meet the needs of the general contracting mode. This paper proposes a cost prediction method based on genetic algorithm (GA) optimized BP neural network according to the cost characteristics of general contracting projects, and effectively improves the accuracy of cost prediction of general contracting projects by constructing the GA-BP neural network cost prediction model for general contracting projects and verifying it by combining with actual engineering cases.

**Keywords:** general engineering contracting; cost prediction; GA-BP neural network

## 引言

工程总承包作为一种全新的工程项目管理模式, 以其有效缩短建设周期、降低工程造价、减少纠纷、优化资源配置等优势被广泛采用<sup>[1]</sup>。在总承包项目的整个建设过程中, 如何降低企业成本, 提高企业利润, 进而提高企业的市场竞争力是需要关注的重点。成本预测在项目成本控制中起主导作用, 是企业管理工作的关键环节, 也是影响企业经济效益的关键。鉴于总承包项目成本影响因素的复杂性, 成本预测的准确性难以保证, 成本管理难度大, 因此迫切需要找到一种快速、可靠、准确的成本预测方法。

近年来, 随着机器学习与智能算法等现代化信息技术的快速发展, 大量学者对智能预测模型进行了研究。林申正等<sup>[2]</sup>提出基于 BIM 技术结合神经网络的装配式建筑成本控制方法, Zheng<sup>[3]</sup>通过构建遗传算法优化神经网络模型对物料工序质量进行预测, Alshboul 等<sup>[4]</sup>提出利用机器学习实现绿色建筑的成本预测。本文以提高工程总承包项目成本管理精细化、智能化为目的, 构建 GA-BP 神经网络模型, 对工程项目的直接成本作出合理预测, 为总承包项目成本的控制与公司利润的提升提供了重要参考。

基金项目: 福建省住建厅科技研究开发计划项目 (2023-K-99)。

作者简介: 朱剑钦, 男 (1986-), 福州建工集团有限公司, 高级工程师, 从事建筑施工技术方面的研究工作。

## 一、总承包项目成本概述

### (一) 总承包项目的概念

工程总承包是指建设单位将项目的勘察、设计、采购、施工、试运行等工作整体发包给一个工程总承包单位，由工程总承包单位对项目的实施负总责，并对所承担的工作向建设单位负责<sup>[5]</sup>。工程总承包模式将项目各阶段进行集成，既减少了建设单位的管理投入成本，又促使建设单位以预定的项目利润目标为导向，通过不断优化施工组织策划方案、采购方案等一系列成本控制举措，最大限度地满足了建设单位的施工需求，同时有效提高了建设单位的工作效率。

总承包模式通过集中责任、减轻业主管理负担、降低项目风险等特点，为工程项目的高效、可控实施提供了途径。在总承包模式下，合理控制项目成本是保证企业经济效益的重要手段，因此总承包企业必须加强成本控制能力，进而实现项目效益的最大化。

### (二) 总承包项目成本构成

工程总承包在设计阶段就对项目的进度、成本、质量及安全进行整体规划和协调。在总承包项目的施工过程中，全过程、全要素、全员的成本控制已成为项目管理的重要内容，是提高项目利润的重点。

根据我国相关政策要求，总承包单位可以将部分工程分包或转包给其他单位，该笔支出作为流动负债不属于公司当期成本，即项目的外委成本；公司为项目产生项目人员报酬、项目直接管理费用、间接费用等，属于总包项目的自营成本，自营成本是总包项目成本管理的主要对象<sup>[6]</sup>。

### (三) 总承包项目成本特点

总承包项目成本形成后具有不可逆性和高风险性。总承包项目因其体量大、无法批量生产等特点，决定了项目成本一旦形成，不可逆转。

成本频繁变动。总承包项目工期跨度大，受市场环境的影响，其建筑材料、人工和机械设备的价格也会不断变化，容易对造价产生影响。

成本构成繁杂。总承包工程的成本构成复杂，包括与项目施工相关的所有要素支出，如劳务费、材料费、机械费等；施工过程中受环境、人员技术水平等不确定性因素引起的成本支出；与项目施工相关的工资、差旅费、规费、税金等。

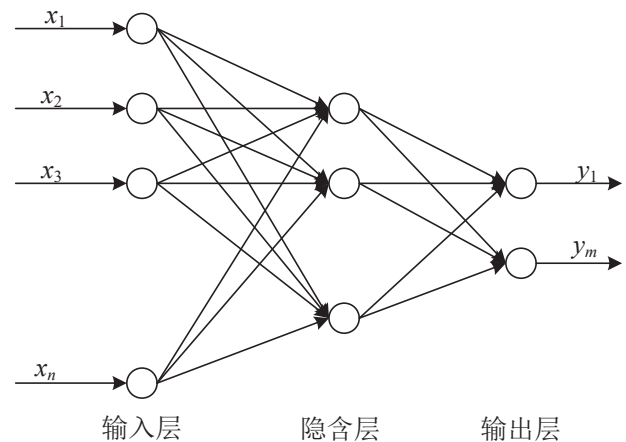
项目管理者通过对总承包项目的直接成本进行事前主动管理，可以有效预见可能遇到的成本问题，从而采取相应措施，保障企业的经济效益。

## 二、GA-BP 神经网络成本预测模型

### (一) BP 神经网络结构

BP 神经网络也称后向传播学习算法支撑的前馈神经网络 (Back Propagation Feed-forward Neural Network, BPFNN/ BPNN)，其本质为多层架构，依据误差逆向传递机制进行训

练<sup>[7]</sup>。BP 神经网络在语音解析、图像辨识、计算机视觉等多个领域展现出了广泛的应用潜力，且成效显著。BP 神经网络由三大层次构成：即输入层、中间层和输出层，输入层负责接纳外部数据样本，经由隐含层（或称中间层）的复杂处理与内部反馈机制，最终导向输出层以生成结果数据。



> 图1 BP 神经网络结构图

尽管 BP 神经网络模型凭借其独特优势在多个领域内得以广泛采纳与应用，然而在实际应用过程中其局限性亦不容忽视，具体体现在以下几个方面：

1. 局部极小化问题。BP 神经网络的核心机制在于局部渐进式的调整权值以找到全局最优解，但该机制常常导致算法陷入局部极小值，难以达到理想训练效果。
2. 收敛速度慢。BP 神经网络以梯度下降法作为基础，反复循环学习，又由于传递函数的影响，使得算法收敛慢，训练效率低。
3. 网络结构不易确定。BP 神经网络的结构一般仅依靠经验选择，如果隐含层或神经元数目过多，训练速度会很慢，从而造成过拟合现象；如果结构过小，则网络可能不收敛，无法使用。

### (二) 遗传算法优化 BP 神经网络

遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 是一种模拟自然界生物进化过程的随机搜索算法，通过模拟生物进化中的自然选择和交配变异寻找问题的全局最优解<sup>[8]</sup>。遗传算法于 20 世纪 70 年由美国密歇根大学教授 John H. Holland 提出，目前被广泛应用于各种工程领域的优化问题之中。遗传算法具有强大的全局搜索能力，可有效优化 BP 神经网络易陷入局部最优解的缺点。具体步骤如下所述：

1. 种群初始化。由 BP 神经网络中输入层和隐含层的权值、阈值与隐含层和输出层的权值、阈值四部分作为遗传算法的初始种群，采用实数编码。
2. 适应度函数。计算预测值与期望值之间的误差绝对值。
3. 选择操作。本文选择轮盘赌法作为选择算子，个体  $i$  被选中的概率  $p_i$  为：

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^Q f_i} \quad (1)$$

式中： $f_i$  为个体  $i$  的适应度值； $Q$  为种群中的个体总数。

4. 交叉操作。本文选择实数交叉法作为交叉算子，则第  $k$  和  $i$  两个染色体在位置  $l$  上进行交叉操作的计算公式为：

$$\begin{cases} a_{kj} = a_{ij}(1-b) + a_{ij}b \\ a_{ij} = a_{kj}(1-b) + a_{ij}b \end{cases} \quad (2)$$

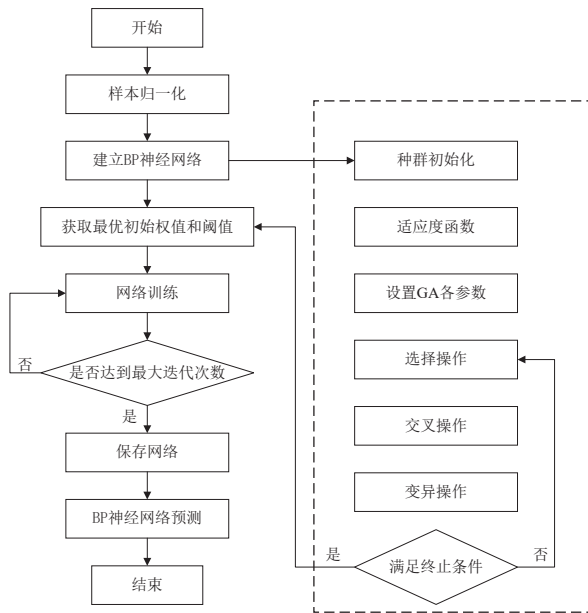
式中： $b$  为  $[0, 1]$  的随机数。

5. 为防止陷入局部最优解，采取变异操作。第  $i$  个个体的第  $j$  个基因进行单点变异的计算公式为：

$$\begin{cases} a_{ij} = a_{ij} + (a_{ij} - a_{max})r_2F, r > 0.5 \\ a_{ij} = a_{ij} + (a_{min} - a_{ij})r_2F, r \leq 0.5 \end{cases} \quad (3)$$

式中： $F = (1 - g/G_{max})^2$ ， $g$  为当前迭代次数， $G_{max}$  为最大进化次数； $a_{max}$ 、 $a_{min}$  分别为基因  $a_{ij}$  的上界和下界； $r$  为  $[0, 1]$  的随机数； $r_2$  为随机数。

6. 把 GA 得到的最优权值和阈值代入到 BP 神经网络中进行训练预测。



> 图2 遗传算法改进的 BP 神经网络预测流程

### 三、工程总承包项目成本预测模型实例应用分析

#### (一) 工程概况

天津大学福州校区位于福建省福州市长乐区滨海新区，占地面积约 2000 亩，建筑面积 60 余万平方米，是福建省房屋建筑装配式建筑试点项目。为了验证 GA-BP 模型对水利工程建设成本预测的准确性，研究以天津大学福州校区项目第 2 标段中的宿舍楼单体建筑为例进行测试，并将其与 BP 神经网络进行比较，其中宿舍楼建筑面积 24544.11m<sup>2</sup>，工程造价 81598.81 万元。

#### (二) 工程总承包项目成本预测

BIM 模型具有数据完整性、溯源性较强等优势<sup>[9]</sup>。以 BIM 数据库为基础，按构件、按专业等分类、动态的提取工程量数据，通过遗传算法优化 BP 神经网络成本预测模型，对人材机单价数据进行网络学习和单价预测，再结合相关工程量信息获得成本预测结果，实现较精准价格预测。

通过文献分析同时结合总承包项目成本特点，将分包商的选择、设计水平、人工材料设备费用、施工质量、施工进度、施工安全水平、施工组织设计、项目管理水平、水文地质条件、政策变动共 10 个影响因素作为输入变量，输入层的节点数量为 10。总承包项目成本预测值作为输出变量，输出层的节点数量为 1。隐含层的节点数量计算公式如下：

$$\begin{cases} h = \sqrt{m+n+a} \\ \frac{m+n}{2} \leq h \leq m+n+10 \end{cases} \quad (4)$$

式中： $h$  为隐含层的节点数量； $m$  为输入层的节点数量； $n$  为输出层的节点数量； $a$  为常数，其取值范围为  $[1, 10]$ 。

经计算，隐含层的节点数量  $h$  为 6。

本试验借助 Matlab 平台进行仿真研究。测试前，需要对原始数据采取归一化处理。GA、BP 具体参数设置见表 1、表 2。其中训练集 240 组，测试集 60 组数，然后将 240 组数据再分为 20 小组，每小组有 12 组数据，这 12 组数据用来确定 BP 神经网络中的一组权值和阈值，通过实数编码生成 GA 初始种群中的一个单独个体，共得到 20 个个体作为初始种群。

表 1 BP 神经网络参数设置

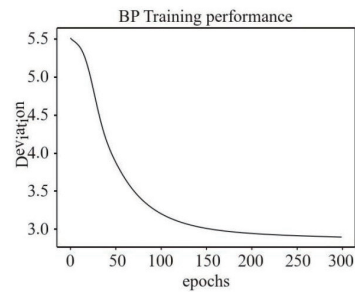
训练次数 / 次	学习速率	目标误差	训练函数	传递函数
1000	0.5	0.0001	Sigmoid	Purelin

表 1 GA 遗传算法参数设置

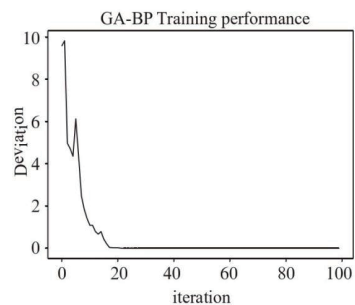
种群规模	最大迭代次数	变异概率	交叉概率
20	100	0.15	0.6

#### (三) 成本预测结果分析

从图 4 可以看出，训练过程中 GA-BP 的收敛速度较快，误差值逐渐减小，约 18 次迭代后模型基本收敛趋于稳定；BP 神经网络收敛速度较慢，近 300 次迭代后才逐渐收敛。在迭代初期，GA-BP 出现较大波动，这说明遗传算法在模拟种群进化过程中的不确定性，BP 神经网络整体误差则平滑下降<sup>[10]</sup>。



> 图 3 BP 神经网络适应度曲线图



> 图 4 GA-BP 适应度曲线图

训练集放入 GA-BP 后, 再对 60 组测试数据进行预测, 预测误差如表 3 所示。

表 3 BP 与 GA-BP 成本预测误差表

模型类型	最小误差	最大误差	平均误差	平均相对标准差
BP 神经网络	0.045%	5.721%	2.372%	1.527%
GA-BP 神经网络	0.086%	2.691%	4.758%	0.856

根据表 3 数据可以得到, 相对于 BP 神经网络, GA-BP 神经网络对于天津大学福州校区总承包项目成本预测的平均误差值和平均相对标准差更小, 这说明了 GA-BP 神经网络模型预测准确性和稳定性更高。

## 四、结语

工程总承包模式下的成本控制面临着很多的不定性因素, 面对复杂的市场环境、持续增加的人工成本, 借助现代化智能算法实现项目成本有效管理愈发重要。本文以天津大学福州校区项目第 2 标段中的宿舍楼单体建筑为例, 基于总承包项目成本特点, 利用遗传算法的全局搜索能力构建 GA-BP 神经网络成本预测模型, 有效地克服了 BP 神经网络易陷入局部最优的弊端, 从而实现工程总承包项目成本的准确预测, 为今后工程实践提供理论指导。

## 参考文献

- [1] 黄锰钢, 王鹏翔. BIM 在施工总承包项目管理中的应用价值探索 [J]. 土木工程信息技术, 2013, 5(05): 88-91.
- [2] 林申正, 罗恒勇. BIM 技术和神经网络相融合的装配式建筑成本控制研究 [J]. 建筑经济, 2021, 42(2): 86-89.
- [3] ZHENG B H. Material procedure quality forecast based on genetic BP neural network [J]. Modern Physics Letters B, 2017, 31(2): 1740080.
- [4] Alshboul O, Shehadeh A, Almasabha G, et al. Extreme Gradient Boosting-Based Machine Learning Approach for Green Building Cost Prediction [J]. Sustainability, 2022.
- [5] 高华. 水电工程 EPC 项目管理协同度评价研究 [D]. 西安理工大学, 2019.
- [6] 夏川子. 试析如何加强总承包项目的成本核算 [J]. 财会学习, 2023, (36): 117-119.
- [7] 刘荷苹. 基于 CUDA 编程的神经网络手写数字识别 [D]. 西南交通大学, 2013.
- [8] 李岩, 袁弘宇, 于佳乔, 等. 遗传算法在优化问题中的应用综述 [J]. 山东工业技术, 2019, (12): 242-243+180.
- [9] 李培. 基于 BIM5D 的工程施工成本管理与预测 [D]. 天津大学, 2018.
- [10] 祝翌旺. 基于 BIM5D 技术的施工成本控制方法研究 [D]. 天津大学, 2021.