

# 基于 GA—BP 神经网络的建筑安全评价<sup>①</sup>

吕景刚, 朱孔国

(天津财经大学, 天津 300222)

**摘要:** 建筑企业的安全问题不仅关系到建筑行业的发展, 而且关系到社会的和谐与进步。从管理者的视角构建了建筑企业安全管理评价指标体系, 并对指标之间的关系做了简要的说明。然后应用主成份分析对神经网络的输入数据进行预处理, 提取其中的关键成分作为网络的输入, 并采用遗传算法来提高神经网络的收敛速度。最后以天津市建筑企业为实例加以说明并进行了分析。结果表明, 建立的模型不仅较公平、合理, 而且提高了神经网络模型的学习效率。

**关键词:** 建筑安全管理; 评价; 遗传算法; 神经网络; 因子分析

## Construction Safety Evaluation Based on Genetic Algorithms and BP Neural Network

LV Jing-Gang, ZHU Kong-Guo

(Tianjin University of Finance and Economics, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** The safety management of construction enterprises has not only relation to the development of construction industry, but also has a strong impact on harmoniousness and progress of society. This paper constructed the evaluation index system from manager perspective, and explained the relationship of evaluation index briefly. Then, this paper applied the principle component analysis which carries on the pretreatment to the input data of nerve network, and withdrew essential ingredient as the input of the network. Subsequently, genetic algorithm was applied to improve the convergence ratio. Finally, the analysis results was given out based on the example of Tianjin city. The results indicate that the model is not only more fair but also reasonable. It improved the learning efficiency of the neural network model.

**Keywords:** construction safety management; evaluation; genetic algorithms; neural network; factor analysis

建筑安全管理就是在建筑生产过程中, 为预防发生人身伤害、设备毁损、建筑产品质量缺陷等事故而采取的各种措施的总称。建筑安全管理既涉及具体工程项目本身的利益, 更涉及到广泛的社会利益、企业形象和社会稳定。而对建筑安全工作绩效进行科学、客观的评估, 有利于改善和提高建筑企业安全管理水平, 充分激发职工工作的积极性、主动性和创造性, 最大限度地控制和减少安全事故的发生, 促进建筑项目各项目标的顺利实现。而要实现上述目的, 就必须以构建一套科学、合理、系统的指标体系作为前提。因此, 研究建筑安全工作绩效评估体系并对建筑企业

安全管理状况进行评价不仅具有一定的理论意义, 而且具有较强的现实意义。

从管理方面分析建筑企业安全管理评价指标体系构成以控制安全事故的发生符合建筑企业事故发生的规律<sup>[1]</sup>。而现有文献[2-5]对建筑企业安全管理的评价多是从事发生后或现场管理的角度来研究建筑安全管理问题, 其评价指标体系的设计往往不够全面。也有部分文献根据系统工程学理论, 从人一机—环境的关系上来评价建筑安全管理; 但从人一机—环境的关系上进行评价较为抽象, 在实践中也不易操作和实施。因此, 本文尝试从管理角度构建评价体系以进行建筑

① 基金项目:天津市哲学社会科学研究规划资助项目(TJGL08-010)

收稿时间:2010-12-12;收到修改稿时间:2011-01-10

安全的管理与控制，并试图通过对建筑安全评价指标体系的设计和建筑企业的评价丰富建筑企业安全评价研究。

## 1 建筑企业安全管理评价指标体系设计

### 1.1 构建评价体系应遵循的原则

构建建筑安全评价指标体系的目的在于寻求一组具有典型代表性、同时能全面反映安全内涵的特征指标，这些指标及其组合能够恰当描述建筑企业的安全管理水平。构建评价体系应遵循以下原则：

- 1) 科学性原则。
- 2) 客观性和便于操作性原则。

### 1.2 评价指标体系的确定及指标间关系

在建筑安全管理要素识别上，一是基于文献分析法，从中英文文献中筛选有关安全管理评价的指标，从中找出影响安全绩效的关键活动；二是咨询对工程项目管理实际具有切身体会和认识的专家，通过专家访谈和开放式问卷调查明晰和核实各评价要素。通过对安全管理评价要素的系统分析，笔者将建筑安全评价分为6大方面，2个层次，21个评价指标，其层次结构如表1所示。

表1 建筑企业安全管理评价指标体系

政策要素 U1	制定易于理解和操作的安全政策 U11
	明确的设定安全管理目标 U12
	分配充足的资源运作和维护安全管理体系 U13
规划要素 U2	实施风险评估及安全控制方案 U21
	制定严格的施工标准，作业时间安排合理 U22
	安全管理制度和操作规程健全 U23
	有相应的应急预案、配备应急设施等 U24
组织要素 U3	安全生产责任明确 U31
	成立安全生产管理机构 U32
	配备强有力的安全管理人员 U33
	企业对员工参与安全活动给与激励 U34
执行要素 U4	设备定期维修保养，安全防护设施齐全 U41
	经安全训练具胜任力的工人 U42
	鼓励报告未发事件并追踪安全管理缺陷 U43
	做好分包单位和供应单位管理 U44
控制要素 U5	制定安全绩效指标并评比监控 U51
	安全生产事故控制 U52
	定期举行安全管理会议 U53
文化要素 U6	安全为组织的核心价值 U61
	员工愿意共享安全知识和经验 U62

指标的具体内容和关系可以阐述如下：

政策要素——企业高层的重视和支持有助于安全管理整体目标的实现，通过明确制定安全政策能使建筑企业有具体的管理方向。

规划要素——采用详细、系统化的方式落实安全管理政策，明晰建筑项目的施工过程和具体产出，使施工安全管理可以考核和评比。

组织要素——建立机构、落实责任以确保计划得以有效执行。

执行要素——包括训练、沟通、设备管理和控制等内容，使组织成员能承诺并正确地执行每个施工过程。

控制要素——制定绩效指标、采取措施矫正安全管理隐患并从查出的安全隐患中汲取教训。

文化要素——充分调动员工的积极性和创造性，使安全生产成为员工的自身需要。企业要使安全文化成为企业核心价值的一部分。

政策要素使建筑企业有具体的管理方向。规划要素、组织要素、执行要素和控制要素确保了安全政策的落实。而安全文化建设能给建筑企业的安全管理工作注入文化动力并构筑和谐的人文环境。如果某企业，从领导到职工，人人讲安全、重视安全，逐渐形成安全氛围，更深层次的讲，就是形成了安全文化，那么这个企业的安全状况肯定好。上述要素间的关系如图1所示：

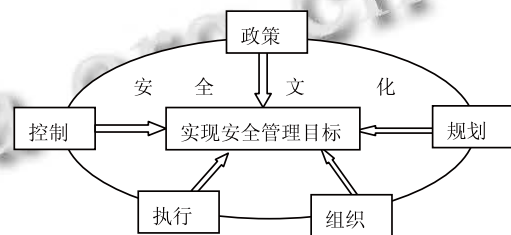


图1 建筑企业安全管理影响要素关系图

## 2 基于GA-BP神经网络的建筑安全管理评判

### 2.1 方法介绍

建筑企业安全管理状况的识别问题实际上是一系列独立变量的分类问题，传统的分类方法在解决这些问题上有很大的局限性，因为企业安全管理状况的好坏与评价指标之间的关系是非线性的，评价指标变量之间也是高度相关的。作为研究复杂性的有力工具，神经网络技术在模式识别、系统辨识、信号处理、自

动控制、组合优化、预测预估、故障诊断、医学与经济学等领域已成功地解决了许多现代计算机难以解决的实际问题,表现出良好的智能特性和潜在的应用前景,这是许多传统方法所无法比拟的。因此,这里采用神经网络对建筑企业安全管理的状况进行评价。

神经网络由大量的处理单元(神经元)相互连接而成,是对生物神经网络进行的某种抽象、简化和模拟。神经网络吸取了生物神经网络的许多优点,因而具有高度的并行性、非线性、良好的容错性、联想记忆功能及自适应、自学习功能。BP神经网络是神经网络中最精华、最完美的一种。BP神经网络按拓扑结构分属前向网络,但它采用的是反向传播的学习方法,因此又称反向传播神经网络。BP神经网络是对非线性可微分函数进行权值训练的多层网络,主要用于函数逼近、模式识别、分类及数据压缩等,三层BP神经网络可以实现任何的从 $m$ 到 $n$ 的非线性映射,而且它的计算能力与信息存储容量也非常大。但由于BP算法本质上为梯度下降法,而它所要优化的目标函数又非常复杂,通常这会使得训练过程过长。另外从数学角度看,BP算法为一种局部搜索的优化方法,而它要解决的为复杂非线性函数的全局极值问题。因此,求

解中系统可能在达到一个局部最小错误率而未达到全局最小错误率点时,就停下来,或可能在一个或两个最小错误点之间来回波动。

为此这里引进了遗传算法(下简称GA)来解决上述问题,利用遗传算法来训练神经网络。由于遗传算法具有较强的全局收敛能力和较强的鲁棒性,且不需要借助问题的特征信息,如导数的梯度信息。因此,将两者相结合,不仅能发挥神经网络的泛化映射能力,而且能够提高神经网络的收敛速度与学习能力。相比基于梯度的神经网络学习算法,采用遗传算法来优化神经网络,无论精度还是速度均会有很大的提高。这里应用GA在训练前对BP神经网络赋以较优秀的初始权值来提高训练的速度和准确性。

## 2.2 数据的获得与预处理

对天津市的24家建筑企业进行了调查,评价得分来自于本行业内专家打分实际值的加权平均(分五个等级:高(1)、较高(0.75)、一般(0.5)、较低(0.25)、低(0))。最后用德尔菲法对这24家企业的总体实施情况进行评价(1表示好,2表示较好,3表示一般,4表示差)。如表2所示。

表2 建筑安全实施的评价结果

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
U11	0.75	1	0.5	0.25	1	1	0.75	0.25	1	0.50	0.25	0.5
U12	0.80	0.79	0.67	0.54	0.87	0.79	0.80	0.41	0.91	0.69	0.44	0.40
U13	0.75	0.76	0.75	0.5	1	1	0.75	0.5	0.75	0.5	0.25	0.25
U21	1	1	0.74	0.5	1	0.75	0.75	0.25	1	0.75	0.5	0.5
U22	0.81	0.78	0.71	0.62	0.86	0.79	0.77	0.54	0.82	0.71	0.55	0.43
U23	0.29	0.24	0.13	0.08	0.22	0.20	0.22	0.05	0.30	0.15	0.06	0.12
U24	0.88	0.92	0.72	0.60	0.81	0.76	0.77	0.49	0.94	0.76	0.44	0.57
U31	0.77	0.86	0.68	0.54	0.82	0.77	0.74	0.62	0.84	0.65	0.47	0.55
U32	0.51	0.75	0.5	0.25	1	0.75	0.75	0.5	0.75	0.5	0.25	0.5
U33	0.75	0.99	0.75	0.5	0.75	0.75	1	0.75	1	0.5	0.5	0.25
U34	1	0.5	0.5	0.25	0.75	0.75	0.75	0.25	1	0.75	0.5	0.5
U41	0.75	0.75	0.49	0.5	1	0.75	0.75	0.5	0.75	0.5	0.25	0.5
U42	0.88	0.93	0.68	0.51	0.87	0.80	0.77	0.62	0.88	0.64	0.47	0.57
U43	0.76	1	0.5	0.25	0.75	0.5	0.75	0.5	0.75	0.5	0.25	0.5
U44	1	1	0.74	0.75	1	0.5	0.75	0.5	1	0.75	0.25	0.25
U51	0.51	0.75	0.5	0.5	1	0.75	1	0.75	0.75	0.5	0.5	0.25
U52	0.75	1	0.74	0.5	0.75	0.75	0.75	0.25	1	0.25	0.5	0.5
U53	0.75	0.76	0.5	0.25	1	0.75	0.75	0.5	1	0.25	0.25	0.5
U61	0.74	1	0.5	0.5	0.75	0.5	0.75	0.25	0.75	0.5	0.25	0.75
U62	0.88	0.87	0.70	0.51	0.85	0.76	0.80	0.44	0.88	0.68	0.54	0.58
U63	1	0.75	0.75	0.75	1	0.75	1	0.75	1	0.75	0.75	0.75
总体评价结果	1	1	3	3	1	2	2	4	1	3	4	3

	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
U11	1	0.25	1	0.5	0.75	0.5	1	0.5	1	0.75	0.25	0.5
U12	0.74	0.42	0.88	0.56	0.77	0.66	0.80	0.50	0.88	0.7	0.47	0.49
U13	0.75	0.5	0.75	0.5	0.75	0.5	0.75	0.25	0.75	0.5	0.5	0.5
U21	0.5	0.25	0.75	0.5	0.75	0.5	0.75	0.5	1	0.75	0.5	0.5
U22	0.80	0.42	0.84	0.55	0.77	0.57	0.79	0.47	0.85	0.79	0.55	0.57
U23	0.19	0.05	0.28	0.10	0.16	0.11	0.17	0.06	0.28	0.20	0.06	0.05
U24	0.74	0.47	0.86	0.61	0.77	0.67	0.74	0.50	0.81	0.76	0.49	0.52
U31	0.78	0.49	0.82	0.60	0.71	0.59	0.78	0.51	0.86	0.78	0.55	0.55
U32	1	0.5	0.75	0.5	0.75	0.5	0.75	0.5	0.75	0.75	0.5	0.5
U33	0.75	0.5	0.75	0.5	0.75	0.75	0.75	0.5	1	0.75	0.25	0.25
U34	0.75	0.25	1	0.5	1	0.5	0.75	0.25	1	1	0.5	0.25
U41	0.5	0.25	1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.75	0.75	0.5	0.5
U42	0.76	0.44	0.87	0.57	0.77	0.56	0.78	0.46	0.84	0.77	0.53	0.45
U43	0.75	0.5	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5	0.5	1	0.75	0.25	0.5
U44	0.5	0.5	0.75	0.5	0.5	0.25	0.75	0.25	1	0.75	0.5	0.75
U51	1	0.25	1	0.5	0.75	0.5	1	0.25	0.75	0.5	0.5	0.5
U52	1	0.25	1	0.75	0.75	0.5	1	0.5	0.5	0.75	0.75	0.25
U53	0.75	0.5	0.75	0.5	1	0.5	0.75	0.5	0.75	1	0.5	0.5
U61	0.75	0.5	0.5	0.25	0.75	0.5	0.75	0.5	1	0.75	0.5	0.5
U62	0.77	0.49	0.86	0.55	0.79	0.55	0.77	0.44	0.87	0.78	0.46	0.44
U63	1	0.75	1	0.75	0.75	0.75	1	0.75	0.75	1	0.75	0.75
总体评价结果	2	4	1	3	2	3	2	4	1	2	4	4

由于某些指标间可能存在着相关性，而相关性会导致被评价对象信息的重复使用并降低评价结果的有效性。因此这里对评价指标之间的相关性进行因子分析，试图通过因子分析来消除或减少评价指标间的相关性对评价准确性的影响，同时也能降低训练数据的位数，减小训练负担。用 SPSS13 检验 21 个指标间的

KMO 和 Bartlett's 球形检验，得 KMO 值为 0.729>0.6, Bartlett's 球形检验的结果为 0, 这表示指标间共同因素较多，适合做因子分析。为了使得到的主因子对指标的解释更加容易，采用 promax 斜交转轴法对指标模型旋转变换，并最终得到两组主因子，结果如表 3 和表 4 所示：

表 3 因子分析结果

1	2	3	4	5	6	7	8
1.3064	1.5341	0.0431	-0.8099	1.0197	0.2968	0.5758	-1.2836
0.3330	0.5265	-0.3763	-1.2199	1.5234	0.7845	0.9697	-0.6341
9	10	11	12	13	14	15	16
1.4178	0.0862	-1.4586	-0.8206	0.0982	-1.2650	0.7525	-0.7188
1.1450	-0.9050	-1.2934	-1.1592	1.3179	-1.3947	1.4919	-0.4064
17	18	19	20	21	22	23	24
0.4916	-0.6377	0.3281	-1.1613	1.6955	0.6325	-1.1869	-0.9358
0.6177	-0.4537	1.1863	-1.1208	0.3449	0.5743	-0.7372	-1.1142

表 4 各指标与主因子间的相关性

U11	U12	U13	U21	U22	U23	U24
0.890	0.916	0.701	0.887	0.888	0.924	0.929
U31	U32	U33	U34	U41	U42	U43
0.958	0.785	0.640	0.693	0.667	0.945	0.662
U44	U51	U52	U53	U61	U62	U63
0.667	0.781	0.633	0.729	0.624	0.946	0.604

由表 4 可知,各指标与主因子间的相关性均大于 0.6,所以不需要剔除指标再进行因子分析。由 SPSS 统计分析知,两个主因子的累积解释变异量为 78.431%,符合计算要求。

### 2.3 GA-BP 神经网络的训练

这里采用典型的三层 BP 神经网络。首先确定输入层的神经元个数  $m$ ,  $m$  等于输入数据的维数。输出层的神经元个数为 4。最重要的是隐含层的神经元个数的确定。到现在为止,一般是根据经验确定隐含层的神经元个数。在这里,因为数据量不是很大,可以用试算法来确定  $n$  的值,这里取  $n=4$ 。训练函数选用 `traindx` 训练函数。首先,加动量项使得收敛速度更快,缩短训练时间;其次,自适应性可以在训练的不同阶段自动调整学习速率的值。在训练初期,学习速率的值较大,可以有效加快训练速度,缩短训练时间;在训练后期,学习速率的值较小,可能会对速度产生影响,但是能保证网络的误差值不会跳出误差表面的低估而最终趋于最小误差值。隐含层传递函数常用 S 形函数,如 `logsig` () 和 `tansig` () 函数,这里选用 `tansig` () 函数,输出层的传递函数选用 `purelin` () 线性函数。训练显示间隔赋值为 50,网络学习速率赋值为 0.05,动量系数赋值为 0.9,网络最大迭代次数赋值为 10000,训练目标误差赋值为  $1e-3$ 。

对于遗传算法的设计部分。种群中个体个数设为 30,变量精度设为  $1e-6$ ,选用二进制编码,终止函数选用 `maxGenTerm`,选择函数选用 `normGeomSelect`,交叉函数选用 `arithXover`,变异函数选用 `nonUnifMutation`,遗传代数赋值为 300。

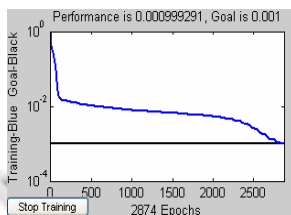


图 2 GA-BP 神经网络训练过程

随机选出四家企业(第 4 家、第 9 家、第 13 家、第 23 家)的数据:(-0.8099, -1.2199)、(1.4178, 1.1450)、(0.0982, 1.3179)、(-1.1869, -0.7372),将之作为测试数据,剩下的 20 个企业的数作为训练数据来训练 GA 优化的 BP 神经网络。如图 2 所示,网络在训练 2874 次后满足设计精度,停止训练。从而得到一个建筑企业安全管理绩效的评价模型,可以对待评价企业进行评级。

### 3 绩效评价模型的应用

把上述数据通过已建立的评价模型进行模拟,可得表 5 所示结果:

表 5 评价结果

第 4 家	第 9 家	第 13 家	第 23 家
-0.8099, -1.2199	1.4178, 1.1450	0.0982, 1.3179	-1.1869, -0.7372
(-0.0004, 0.0018, 1.0880, -0.0895)	(1.0280, -0.0281, 0.0001, -0.0000)	(-0.0362, 1.0582, -0.0216, -0.0004)	(0.0002, -0.0009, -0.0470, 1.0478)
(0 0 1 0)	(1 0 0 0)	(0 1 0 0)	(0 0 0 1)

由表 5 可知,评价模型的评价结果与专家评价结果相一致,可见评价模型具有较强的实用性,能准确地评价出待评价企业的安全管理状况。

### 4 建筑安全评价的分析与结论

从上述数据和评价结果来看,大多数企业的安全管理工作扎实细致,企业内事故隐患较少,这无疑得益于企业各管理部门的重视和推动。但仍有些建筑企业相对落后,这说明有些企业仍存在不足之处。因此应加大对薄弱环节的重点管理,以期带动安全管理水平的提高。还有部分企业的得分均较低,这说明他们只是被动地应付安全管理,对安全施工的管理不够深入,因此这些企业应加强安全管理和控制并扎实细致地改善本企业的安全管理。

由于评价指标之间的相关性,这里采用主成分分析法对这些数据进行因子分析,并得到主因子。选取了 GA-BP 神经网络作为建筑企业安全管理状况的评价方法,建立了相应的评价模型,并通过模型应用证明了 GA-BP 神经网络评价方法的合理性和准确性。

#### 参考文献

- 1 罗云.企业现代安全管理方法综述.劳动安全与健康,1999,14(2):28-32.
- 2 Hinze JW. Incurring the costs of injuries versus investing in safety. *Construction Safety and Health Management*, New Jersey: Prentice Hall, 2000:23-42
- 3 Suraji A, Duff AR, Peckitt SJ. Development of Causal Model of Construction Accident Causation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2001, 127(4): 337-344.
- 4 Lingard H, Rowlinson S. *Occupational Health and Safety in Construction Project Management*. New York: Spon Press, 2005: 32-45.
- 5 丁传波,黄吉欣,方东平.我国建筑施工伤亡事故的致因分析和对策. *土木工程学报*,2004,37(8):77-82.