

基于人工神经网络的水电工程施工安全评价

常阳阳

(三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要:为了减小传统施工安全评价方法中主观因素过大对风险评价结果的不利影响,针对水电工程施工安全事故的动态性、随机性和模糊性特点,构建水电工程施工安全评价指标体系。通过引入人工神经网络理论,并运用 MATLAB 辅助设计评价模型,对水电工程施工安全进行评价。应用实例说明:该评价方法具有较高的准确性和可靠性,对于水电工程施工安全评价具有一定的应用价值。

关键词:水电工程施工;安全评价;评价指标体系;人工神经网络

中图分类号: TV512 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2013)05-0113-04

我国水能资源丰富,总量居世界首位,但目前开发利用程度较低。加快开发利用丰富的水能资源是有效增加清洁能源供应、优化能源结构、保障能源安全、应对气候变化、实现可持续发展的重要措施。“十二五”期间,我国将重点建设金沙江、澜沧江、大渡河、黄河、雅砻江、怒江、长江干流、雅鲁藏布江等大型水电基地。这些水电基地多数位于西部高山峡谷地带,地质条件复杂,交通不便,施工环境差,施工风险控制难度大,一旦发生事故,造成的后果往往十分严重。因此,必须建立完善合理的水电工程施工安全管理体系,进行必要的安全评价,将安全事故扼杀在萌芽状态,防患于未然。

目前应用较多的安全评价方法主要有安全检查表法、事故树分析法、LEC 及 LECM^[1]、模糊网络分析法^[2-3]、层次分析法^[4]、敏感性分析法、蒙特卡罗模拟法、影响图法等。运用这些方法进行安全评价,虽然结果能在一定程度上反映风险水平的大小,但大都依靠专家进行权值的估计,受经验性、主观性的因素影响,得到的评价结论容易偏离实际甚至是错误的,对风险管理者进行风险决策造成不利影响。

自组织、自适应、自学习、并行分布处理以及优良的容错性等是人工神经网络方法独特的性能,人工神经网络对风险评价这类非线性、多因素、不确定性的问题处理能力较强^[5]。因此,笔者引入人工神经网络模型来进行风险评价,以减小人为因素对风险评价结果的影响,以期为水电工程施工安全评价提供一种新途径。

1 水电工程施工安全评价指标体系

建立合理、有效的风险评价指标体系是对水电工程施工安全准确进行评价的关键,是进行风险决策和采取风险应对措施的重要依据。一般来说,风险评价指标的选择要遵循全面性、层次性、可操作性、差别性等原则。通过对我国水电工程施工安全管理现状进行调查研究,对水电工程施工安全事故的成因进行分析,参考已有的风险指标体系^[6-7],并充分考虑了专家的建议,兼顾人工神经网络的特点,本文建立了如表 1 所示的水电工程施工安全评价指标体系。它是一个递阶层次结构,分为 3 个一级指标和 12 个二级指标。评价体系的评分区间如表 2 所示。

表 1 水电工程施工安全评价指标体系

一级指标	二级指标
人的不安全行为 X_1	企业施工安全管理制度 X_{11}
	安全教育培训及施工操作规程 X_{12}
	个人安全防护用品 X_{13}
	施工期安全技术措施 X_{14}
物的不安全状态 X_2	施工机械设备的稳定性、可靠性 X_{21}
	起重吊装及运输 X_{22}
	施工用电及照明 X_{23}
	危险地带安全防护设施 X_{24}
人机交互环境 X_3	混凝土工程 X_{31}
	基坑、边坡、地下洞室爆破开挖及支护 X_{32}
	钢筋制作及安装 X_{33}
	施工期防洪渡汛 X_{34}

表 2 水电工程施工安全评价指标体系的区间评分表

分数	>0.9~1.0	>0.8~0.9	>0.7~0.8	>0.6~0.7	0.6~0
评定结果	安全	较安全	一般	较危险	危险
评定等级	1	2	3	4	5

2 人工神经网络及其评价模型

2.1 LM-BP 算法

1986 年, Rumelhart 和 McClelland 提出了 BP (Back Propagation) 神经网络, 它是目前应用最为广泛、成功的神经网络之一。虽然 BP 算法具有优良的非线性映射能力、自学习和自适应能力、泛化能力、容错能力, 但它存在着自身的限制和不足, 主要表现在: ①收敛速度慢, 需要较长的训练时间, 尤其对于一些复杂的问题, BP 算法可能要要进行几小时甚至更长时间的训练。②局部极小化问题, BP 算法可以使网络权值收敛到一个解, 但它并不能保证所求为误差超平面的全局最小解, 很可能是一个局部极小解。针对上述问题, 目前改进的优化算法有增加动量项法, 自适应调节学习率法, 引入陡度因子法等^[8]。本文采用 Levenberg-Marquardt 算法对 BP 神经网络进行优化。

设 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 是 BP 神经网络的输入样本, $W^{(k)}$ 表示 BP 神经网络第 k 次迭代的权值向量, 新的权值向量是 $W^{(k+1)}$, 可以根据以下规则求出:

$$W^{(k+1)} = W^{(k)} + \Delta W \tag{1}$$

根据牛顿法, 有:

$$\Delta W = -[\nabla^2 E(X)]^{-1} \nabla E(X) \tag{2}$$

式中, $\nabla^2 E(X)$ 是误差指标函数 $E(X)$ 的 Hessian 矩阵, $\nabla E(X)$ 是 $E(X)$ 的梯度。

设误差指标函数为:

$$E(X) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N e_i^2(X) = \frac{1}{2} e^T(X) e(X) \tag{3}$$

其中, $e_i(X) = d_i - y_i$ 为 BP 神经网络实际输出与期望输出的误差, 且 d_i 表示期望输出, y_i 表示网络实际输出。

$$e(X) = [e_1(X), e_2(X), \dots, e_N(X)]^T \tag{4}$$

其中, N 代表 BP 神经网络输出层的神经元个数。那么

$$\nabla E(X) = J^T(X) \cdot e(X) \tag{5}$$

$$\nabla^2 E(X) = J^T(X) \cdot e(X) + J(X) \tag{6}$$

在式(5)、(6)中, $J(X)$ 为 Jacobian 矩阵。

对于高斯-牛顿法的计算法则, 有

$$\Delta W = -[J^T(X) \cdot J(X)]^{-1} J^T(X) \cdot e(X) \tag{7}$$

LM 算法是改进的高斯-牛顿法, 它的形式为
$$\Delta W = -[J^T(X) \cdot J(X) + \mu \cdot I]^{-1} J^T(X) \cdot e(X) \tag{8}$$

式中 μ 为大于 0 的常数, I 为单位矩阵。

2.2 基于 Matlab 的 BP 神经网络评价模型

水电工程施工安全事故的最大特点是动态性、随机性和模糊性^[6]。如何实现模糊性向确定性的转化, 实现定性向定量的转化, 求得风险因素和风险结果之间的非结构化关系, 是水电工程施工安全风险评价的重要内容, 但这采用一般的数学工具很难实现。结合人工神经网络理论, 以量化的水电工程施工安全风险指标作为 BP 神经网络的输入, 以风险评价结果作为 BP 神经网络的输出, 建立一个与所要解决问题等价的安全评价模型, 是进行风险评价的一个有效方法。Matlab 7.0 中集成了神经网络工具箱, 可以用来辅助人工神经网络设计^[9], 基于 Matlab 的 BP 神经网络评价模型构建步骤如下:

1) 收集详细的水电工程施工现场资料, 结合国家相关法规、技术标准, 建立施工安全知识库, 进行风险单元划分, 确定可能引发水电工程施工安全事故的风险因素, 构建水电工程施工安全评价指标体系。

2) 确定输入层神经元数 M 、隐含层神经元数 Q 、输出层神经元数 N 。典型的 BP 神经网络由输入层、输出层和隐含层组成。以表 1 建立的 12 个具体指标作为 BP 网络输入节点, 分别以 $X_1 \sim X_{12}$ 表示, 即企业施工安全管理制度 (X_1)、安全教育培训及施工操作规程 (X_2)、个人安全防护用品 (X_3)、施工期安全技术措施 (X_4)、施工机械设备的稳定性、可靠性 (X_5)、起重吊装及运输 (X_6)、施工用电及照明 (X_7)、危险地带安全防护设施 (X_8)、混凝土工程 (X_9)、基坑、边坡、地下洞室爆破开挖及支护 (X_{10})、钢筋制作及安装 (X_{11})、施工期防洪渡汛 (X_{12})。确定了评价指标, 也即确定了输入层神经元数 $M = 12$ 。网络隐含层神经元数的选取目前尚无准确的理论指导。神经元太少, 网络不能很好地学习, 需要训练的次数多, 训练精度也不高; 神经元太多, 又会增加学习时间, 训练精度也不一定提高。本模型隐含层神经元数的选取采用试探法, 经多次运算并比较各种模型训练后所得的误差, 最终确定 $Q = 9$ 。而网络的输出节点本模型采用一个介于 0 和 1 之间的输出作为评价结果, 即 $N = 1$ 。因此, 本模型的网络拓扑结构为 12-9-1。

3) 选取 BP 神经网络学习样本。训练网络的稳定性、精确性、可靠性很大程度上是由学习样本的数

据准确性、数量适当性所决定的。因此,选取学习样本是建立神经网络的关键。当前,关于水电工程施工安全评价的实例较少,同时这些有限的实例采用的评价方法都有一定的局限性,所以把这些实例作为学习样本是不合适的。鉴于上述情况,本模型采用理想样本进行学习^[10]。假设某水电工程施工评价的各项指

标均隶属于安全等级,显然,该工程的施工安全评价等级为安全。基于上述假设,可在每种情况下选取 4 个样本,那么总共有 20 个样本。借助计算机生成满足样本要求的随机数,并进行规一化处理,选取 20 个学习样本,见表 3。

表 3 学习样本

样本	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	等级
1	0.996	0.987	0.928	0.903	0.955	0.962	0.971	0.901	0.903	0.917	0.924	0.945	1
2	0.939	0.923	0.987	0.936	0.988	0.978	0.939	0.960	0.902	0.998	0.939	0.933	1
3	0.974	0.943	0.974	0.962	0.973	0.960	0.904	0.955	0.975	0.936	0.975	0.947	1
4	0.960	0.963	0.951	0.935	0.905	0.928	0.980	0.907	0.945	0.964	0.920	0.968	1
5	0.818	0.884	0.844	0.830	0.843	0.887	0.827	0.834	0.800	0.838	0.815	0.854	2
6	0.817	0.831	0.898	0.817	0.866	0.896	0.893	0.885	0.834	0.805	0.844	0.879	2
7	0.857	0.847	0.807	0.828	0.883	0.808	0.830	0.865	0.878	0.830	0.830	0.887	2
8	0.874	0.834	0.894	0.832	0.832	0.885	0.891	0.823	0.842	0.836	0.844	0.833	2
9	0.748	0.769	0.742	0.757	0.784	0.783	0.761	0.741	0.726	0.791	0.796	0.771	3
10	0.758	0.787	0.768	0.765	0.725	0.784	0.707	0.783	0.789	0.759	0.738	0.710	3
11	0.705	0.746	0.752	0.739	0.787	0.761	0.752	0.740	0.710	0.738	0.707	0.724	3
12	0.708	0.733	0.769	0.772	0.794	0.730	0.732	0.742	0.731	0.702	0.713	0.789	3
13	0.606	0.687	0.684	0.622	0.690	0.634	0.681	0.645	0.603	0.671	0.608	0.651	4
14	0.682	0.670	0.631	0.611	0.654	0.671	0.603	0.695	0.626	0.607	0.689	0.655	4
15	0.657	0.675	0.687	0.650	0.683	0.661	0.663	0.646	0.645	0.641	0.669	0.616	4
16	0.644	0.659	0.664	0.637	0.627	0.629	0.625	0.674	0.686	0.663	0.653	0.607	4
17	0.116	0.401	0.376	0.027	0.352	0.304	0.182	0.412	0.544	0.043	0.364	0.446	5
18	0.096	0.017	0.014	0.408	0.280	0.461	0.036	0.025	0.134	0.140	0.126	0.308	5
19	0.437	0.060	0.057	0.436	0.103	0.150	0.278	0.253	0.561	0.397	0.477	0.591	5
20	0.223	0.298	0.329	0.333	0.442	0.314	0.216	0.422	0.475	0.065	0.473	0.100	5

4)训练 BP 网络。利用 Matlab7.0 中的神经网络工具箱构建 BP 神经网络:传递函数采用 Sigmoid 函数,网络输出采用线性函数 purelin,设定训练误差 $mse = 0.0001$,学习速率 $lr = 0.01$ 。首先用 traingd.m 函数即标准 BP 算法一梯度下降法进行训练,经过 10 000 次迭代,网络尚未收敛。然后用 trainlm.m 函数即 LM 算法进行训练,经 5 次迭代即收敛,网络收敛速度明显加快,网络训练性能曲线如图 1,训练结果见表 4。

5)检验 BP 网络。用训练好的网络对表 5 中随机抽取的数据进行检验,检验结果如表 6 所示,网络总误差为 0.0006,网络逼近极佳,准确性高,符合水电工程施工安全评价的要求。

3 应用实例

某水电工程位于大渡河中游,是四川省“十二五”重点建设项目。运用表 1 所建立的水电工程施工安全评价指标体系,对各指标结合表 2 进行专家打分、

调研和数据归一化处理,得到各项指标因素的分数,见表 7。

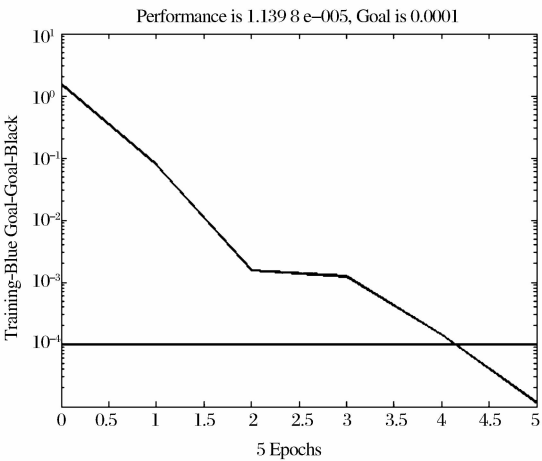


图 1 网络训练性能曲线

表 4 样本训练结果

样本	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
期望输出	0.95	0.95	0.95	0.95	0.85	0.85	0.85	0.85	0.75	0.75
实际输出	0.948 5	0.947 6	0.948 0	0.947 9	0.845 5	0.850 3	0.850 0	0.849 7	0.755 1	0.758 4
样本	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
期望输出	0.75	0.75	0.65	0.65	0.65	0.65	0	0	0	0
实际输出	0.750 3	0.752 1	0.657 1	0.654 1	0.654 7	0.650 2	0.000 7	0.000 2	0.000 9	0.000 6

表 5 检验样本

样本	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂
1	0.939	0.923	0.987	0.973	0.904	0.955	0.975	0.964	0.939	0.917	0.962	0.935
2	0.857	0.807	0.866	0.827	0.878	0.832	0.898	0.834	0.838	0.887	0.830	0.843
3	0.748	0.787	0.742	0.725	0.761	0.783	0.752	0.741	0.791	0.738	0.732	0.789
4	0.606	0.631	0.683	0.663	0.674	0.645	0.607	0.689	0.634	0.650	0.629	0.663
5	0.116	0.217	0.436	0.461	0.125	0.140	0.364	0.391	0.629	0.216	0.475	0.398

表 6 检验结果

样本	1	2	3	4	5
期望值	0.95	0.85	0.75	0.65	0
检验结果	0.943 1	0.847 5	0.749 3	0.682 0	0.008 6

将表 7 中的数据输入已经训练好的 BP 网络,得到最终的风险值为 0.833 0,该工程目前施工安全评价等级为 2 级,较安全。而相关专家给出的评价结果为 0.824,两者在安全等级上具有一致性,模型运用

效果较好。

运用已建立的评价模型还可以对该工程不同阶段、不同时期的施工安全状况进行评价,如果评价结果始终为安全或较安全无较大波动,说明该工程全过程的施工安全管理工作都做得较好。如果评价结果时好时坏有一定波动,就要分析原因,切实做好安全防护措施,加强日常施工安全监督与管理,及时消除不安全因素。

表 7 某水电工程施工安全评价各指标风险分数

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂
0.852	0.784	0.635	0.756	0.728	0.834	0.737	0.926	0.769	0.893	0.623	0.771

4 结论

1)人工神经网络模型主要根据所提供的数据,输入输出之间的连接权靠网络自动计算和训练,从而求取问题的解。相比于传统方法对经验知识和规则的严重依赖,人工神经具有自适应功能,这对于弱化权重确定中的人为因素是十分有益的,因而其评价结果具有客观性。

2)运用人工神经网络对水电工程施工安全进行评价时,只需输入有关数据,利用已经训练好的网络模型进行评价,不要求进行多余的计算,简单实用,易于推广。

3)实际应用中,由于水电工程施工风险的复杂性,工程类型不同风险评价指标的选择会有所不同,风险评价指标的选取标准以及定性指标的量化方法需要进一步研究。本文中安全评价底层指标的权重获取还要依靠专家的判断,不能完全避免人为因素的

干扰。另外,采用怎样的风险评价标准来对比神经网络模型得出的评价结果也需要进一步研究。

参考文献

[1] 朱渊岳,付学华,李克荣,等.改进LEC法在水利水电工程建设期危险源评价中的应用[J].中国安全生产科学技术,2009,5(4):51—54.

[2] 钟登华,蔡绍宽,李玉钦.基于网络分析法(ANP)的水电工程风险分析及其应用[J].水力发电学报,2008,27(1):11—17.

[3] 聂相田,罗刚.基于模糊网络分析法的水利工程施工风险分析[J].人民黄河,2011,33(5):113—114.

[4] 郭金玉,张忠彬,孙庆云.层次分析法在安全科学研究中的应用[J].中国安全生产科学技术,2008,18(5):148—153.

[5] 韩力群.人工神经网络理论、设计及应用[M].北京:化学工业出版社,2007:15—16.

[6] 郑霞忠,谌巧玲,陈述,等.基于粗糙集的水电工程施工安全评价方法[J].中国安全科学学报,2011,21(1):82—86.

(下转第 140 页)

机制。建立绩效结合、奖勤罚懒的奖励机制是提高仪器设备共享的重要举措。对参与仪器管理、使用、维护及研究的技术人员进行奖励,对优秀的专业人员进行表彰,使其充分发挥积极性和创造性,保证共享服务的高效运行。设立专项资金,用于仪器设备开放服务的运行及仪器设备改造升级方面的支持。明确各单位的目标任务和考核奖励,把对各平台成员单位的经费支持与服务绩效考核紧密挂钩。

4)服务对接机制。促进大型科学仪器共享需要坚持以科技进步为动力,以技术需求、市场需求为导向,以加强科技示范和科技成果转化实效为重点,以各种形式的对接、服务活动为载体,采用技术咨询服务、成果转化与推广、新技术研发等一系列形式,为仪器设备的供需双方制造直接进行接触交流的环境和条件。通过建立服务对接长效机制,切实增强大型科

学仪器设备共享对新区科技创新活动的支撑能力^[5]。

参考文献

[1] 孙绪华. 关于促进我国大型科研仪器设备共享的思考[J]. 实验技术与管理,2006(11):10—14.

[2] 朱春奎. 上海大型科学仪器设备设施共享使用战略研究[J]. 中国科技论坛,2007(1):34—36.

[3] 宋智,杨宏云. 搭建基于省级大型科学仪器协作共用平台的虚拟测试中心[J]. 昆明理工大学学报:理工版,2009(6):96—99.

[4] 长治市科学技术局. 大型科学仪器设备资源共享机制的探究[EB/OL]. (2008—06—06). <http://www.czkkj.gov.cn/Item.aspx?id=1286>.

[5] 程文欣,赵剑眉. 沈阳地区大型科学仪器设备共享服务平台发展现状分析[J]. 科技与管理,2008(3):51—52.

Countermeasure Research on Accelerating the Sharing of the Large Scientific Instruments of the Tianjin Binhai New Area

YANG Shi-wei

(Tianjin Institute of Scientific & Technical Information,Tianjin 300074,China)

Abstract: Large science instruments sharing has an important significance to improve efficiency in the use of science and technology resources,and to promote scientific and technological innovation ability. It is effective means to realization of large-scale instrument and equipment resources of Binhai New Area open to the whole society, and to improve the science and technology innovation ability. In this paper, putting forward measures to large scientific instruments sharing in view of the current main problems of existing area.

Key words: large scientific instruments and equipment;science and technology resources;sharing;environment;policy

(上接第 116 页)

[7] 崔纪委. 水利施工现场危险源辨析及其风险评价研究[D]. 保定:河北农业大学,2012:42—44.

[8] 王亦裴. 基于 GA_LM 的 BP 神经网络在数字滤波器设计中的应用[D]. 南京:南京航空航天大学,2008.

[9] 丛爽. 面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2003:142—152.

[10] 王宏图,黄振华,范晓刚,等. 粗糙集—神经网络理论在矿井通风系统评价中的应用[J]. 重庆大学学报,2011,34(9):90—94.

Safety Assessment for Hydropower Construction Based on ANN

CHANG Yang-yang

(College of Hydraulic&Environmental Engineering,China Three Gorges University,Yichang Hubei 443002,China)

Abstract: In order to reduce adverse effects that subjective factors affect the results of the risk assessment in the traditional construction safety evaluation methods, According to the dynamic random and fuzzy characteristic of hydropower construction safety accidents, safety evaluation indexes for hydropower construction are established. Then by using MATLAB to design evaluation model, ANN is applied to safety assessment for hydropower construction. A engineering example proves that the evaluation method has higher accuracy and reliability, which has a certain application value for safety evaluation of hydropower engineering construction.

Key words: hydropower construction;safety assessment;evaluation indexes;ANN