

# 人工神经网络在公路隧道支护设计中的应用

夏永旭 裘军良

(长安大学公路学院, 西安, 710064)

**摘要:** 利用人工神经网络在处理公路隧道支护设计中的优势, 选取有代表性的公路隧道支护设计工程实例, 提取特征参数, 归一化处理后, 形成神经网络训练样本库。利用 MATLAB 程序设计语言编制 BP 神经网络可执行程序, 经过训练, 得到稳定的神经网络。应用神经网络进行工程实例预测, 通过比较分析, 证明人工神经网络在公路隧道支护设计中的可行性和可靠性。

**关键词:** BP 神经网络; 公路隧道; 支护设计; 预测。

公路隧道工程支护设计的基本特点是“地质环境复杂, 基础信息匮乏”, 设计者必须考虑大量的、关系错综复杂的、无法精确量化的地质因素、工程因素、施工因素等。因此, 设计人员的综合性经验判断能力非常重要, 并且在相当长的时期内, 很难从根本上改变支护设计以经验判断为主的现状。人工神经网络技术, 可以处理一些环境信息十分复杂, 知识背景不清楚和推理规则不明确的问题, 对处理公路隧道设计这样大量不确定因素的问题, 有着明显的优势。本文主要探讨应用人工神经网络技术进行公路隧道支护设计的可行性, 试图为公路隧道的设计开辟一条新的途径。

## 1. 人工神经网络原理及 BP 算法

人工神经网络 (Artificial Neural Network, 简称 ANN) 又称神经网络、神经网络, 它是人们通过模拟生物神经系统, 在计算机上实现的一种复杂网络, 是现代科技发展的新技术, 它具有并行运行、容错、自适宜、自学习及集体运算等特点。Rumelhart<sup>[1]</sup>等人于 1986 年提出的三层 BP 神经网络, 其模型如图 1 所示。它由输入层、隐含层、输出层组成, 它是一单向传播的网络, 每一层的神经元只接受来自前一层神经元的信号, 而同一层各神经元之间没有任何联系。通过反向传播, 调整权值, 使输入和输出之间具有较好的映射作用。

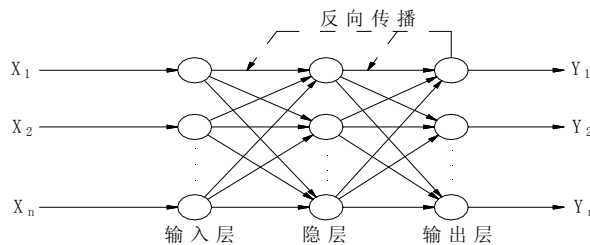


图 1 三层 BP 神经网络结构图

BP 算法的基本思想是, 其学习过程由信号的正向传播与误差的反向传播两个过程组成。正向传播时, 模式作用于输入层, 经隐含层处理后, 传向输出层。如输出层未能满足预期的输出要求, 则转入误差的反向传播阶段, 将输出误差按某种形式, 通过隐层向输入层逐层

返回，并“分摊”给各层的所有单元，从而获得各层单元的参考误差或称误差信号，以作为修改各单元权值的依据。这种信号正向传播与误差反向传播的各层权矩阵的修改过程，是周而复始进行的。权值不断修改的过程，也就是网络不断学习（训练）的过程。此过程一直进行到网络输出的误差逐渐减少到可接受的程度或达到设定的学习次数为止。因此，BP 算法原理归纳起来为：模式顺传播—误差逆传播—记忆训练—学习收敛。

## 2. 人工神经网络在公路隧道支护设计中的优越性

人工神经网络在处理公路隧道围岩判别和支护设计问题中的优越性非常明显，主要表现在以下方面：

- (1) 考虑了公路隧道设计问题中的定性的描述信息（岩石等级、风化程度、受地质构造影响程度、节理发育程度、地下水状况等），且数量不受限制；
- (2) 进行参数处理和预测的精度可进行人工调整；
- (3) 减少获取参数的费用和工作量；
- (4) 应用的数据可以是不完善的、有误差的；
- (5) 应用所涉及的范围内，已积累了大量历史性的数据和样本；
- (6) 对没有确定的求解方法的问题有效；

## 3. 公路隧道设计影响因素的确定

根据对大量公路隧道设计资料的归纳分析，确定影响公路隧道支护设计神经网络的因素为：

(1) 围岩地质因素：岩石等级、风化程度、岩体结构、受地质构造影响程度、节理（裂隙）发育程度、地下水情况。

(2) 隧道设计净宽：隧道开挖跨度对围岩的开挖后自稳有很大影响，开挖跨度越大，围岩自稳能力越差，因而是影响公路隧道支护设计的一个主要因素。由于隧道开挖跨度很难精确计算，而隧道设计净宽和隧道开挖跨度的成正比，并且容易确定，所以选用隧道设计净宽作为影响指标。

(3) 隧道埋深：隧道埋深将影响隧道围岩的自稳和围岩压力，埋深越小，围岩自稳能力越差，所以选用隧道埋深作为一个影响指标。

## 4. 训练样本资料归一化处理（定性、定量）

为了消除各因素由于量纲和单位不同的影响，及训练函数的变化规律，需对输入、输出影响因素进行归一化。对于公路隧道埋深、岩石等级、风化程度、岩体结构、受地质构造影响程度、节理（裂隙）发育程度、地下水状况等输入样本的量化取值如表 1。对于各影响

因素定性指标，可按《公路隧道设计规范》<sup>[2]</sup>规定标准来划分，半定量指标与影响围岩稳定性的变化趋势一致。对于隧道设计净宽，因为隧道设计净宽越大对围岩稳定越不利，与其他影响因素的变化趋势成反比，所以按下式归一化

$$x_i = 1 - \frac{x_i - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (1)$$

为了防止神经元达到过饱和，对于人工神经网络输出样本值，需将输出状态归一化。为使其影响变化趋势保持一致，对于喷射混凝土厚度、锚杆直径、锚杆长度、钢筋网直径、钢拱架型号、超前支护直径、超前支护长度、二衬类型、二衬厚度的归一化如（2）式，对于锚杆间距、钢筋网间距、刚拱架间距和超前支护间距的归一化如（3）式。

$$y_i = \frac{y_i - y_{i\min}}{y_{i\max} - y_{i\min}} \times d_1 + d_2 \quad (2)$$

$$y_i = 1 - \frac{y_i - y_{i\min}}{y_{i\max} - y_{i\min}} \times d_1 - d_2 \quad (3)$$

式中  $x_i$ 、 $x_{i\min}$ 、 $x_{i\max}$ 、 $y_i$ 、 $y_{i\max}$ 、 $y_{i\min}$  分别表示因变向量第  $i$  个分量及其最大、最小值； $d_1$ 、 $d_2$  分别取 0.995 和 0.002。

表 1 围岩稳定分级定性和半定量指标

|          |       |      |      |      |      |
|----------|-------|------|------|------|------|
| 岩石等级     | 极硬岩   | 硬质岩  | 软质岩  | 极软岩  | —    |
| 分值       | 0.9   | 0.6  | 0.3  | 0.1  | —    |
| 岩体结构     | 整体状结构 | 块状结构 | 层状结构 | 碎裂结构 | 散体结构 |
| 分值       | 0.9   | 0.7  | 0.5  | 0.3  | 0.1  |
| 地下水状况    | 干燥    | 渗    | 滴    | 流    | 涌    |
| 分值       | 0.9   | 0.7  | 0.5  | 0.3  | 0.1  |
| 地质构造影响程度 | 轻微    | 较重   | 严重   | 很严重  | —    |
| 分值       | 0.9   | 0.6  | 0.3  | 0.1  | —    |
| 节理发育程度   | 不发育   | 较发育  | 发育   | 很发育  | —    |
| 分值       | 0.9   | 0.6  | 0.3  | 0.1  | —    |
| 围岩风化程度   | 未风化   | 微风化  | 弱风化  | 强风化  | 全风化  |
| 分值       | 0.9   | 0.7  | 0.5  | 0.3  | 0.1  |
| 隧道埋深     | 中埋    | 浅埋   | —    | —    | —    |
| 分值       | 0.6   | 0.3  | —    | —    | —    |

## 5. 人工神经网络在公路隧道支护设计中的应用

对大量调研的公路隧道支护设计实例，经过整理、归纳，按上述规则归一化后，得到了人工神经网络公路隧道支护设计样本库，对应于 BP 神经网络思想，利用 MATLAB 程序设计语言，编制人工神经网络训练程序，经过训练形成了稳定的神经网络<sup>[3]</sup>。利用该样本

库，进行公路隧道支护设计预测，检验其结果是否符合工程实际。

某公路隧道位于国道主干线（GZ40）陕西境内简车湾至槐树关高速公路宁陕连接线上，隧道按山岭重丘区二级公路标准设计，隧道设计净宽 8.5m。地层岩性主要为花岗岩，节理裂隙较发育，地下水仅在强、弱风化层中存有少量基岩裂隙水，微风化层中地下水贫乏。其支护设计参数如表 2。应用编制的人工神经网络程序经过预测，得到神经网络支护设计预测参数如表 3。

表 2 该公路隧道神经网络围岩判别预测统计表

| 样本编号 | 输入特征向量 |      |                          |        |          |        |       |      |     |
|------|--------|------|--------------------------|--------|----------|--------|-------|------|-----|
|      | 岩石等级   | 风化程度 | V <sub>p</sub><br>(km/s) | 岩体结构特征 | 地质构造影响程度 | 节理发育程度 | 地下水状况 | 设计净宽 | 埋深  |
| 1    | 0.9    | 0.1  | 0.8                      | 0.1    | 0.6      | 0.3    | 0.5   | 8.5  | 0.6 |
| 2    | 0.9    | 0.3  | 2.45                     | 0.3    | 0.6      | 0.3    | 0.7   | 8.5  | 0.6 |
| 3    | 0.9    | 0.5  | 3.7                      | 0.7    | 0.6      | 0.6    | 0.9   | 8.5  | 0.6 |
| 4    | 0.9    | 0.7  | 4.7                      | 0.9    | 0.9      | 0.6    | 0.9   | 8.5  | 0.6 |

表 3 该公路隧道支护设计实际和预测参数表

| 设计类型 | 围岩类别 | 初期支护            |            |           |           |            |            |           |           |            |            |           | 二次衬砌 |            |
|------|------|-----------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|------|------------|
|      |      | 喷射混凝土厚度<br>(cm) | 锚杆         |           |           | 钢筋网        |            | 钢拱架       |           | 超前小导管      |            |           | 类型   | 厚度<br>(cm) |
|      |      |                 | 直径<br>(mm) | 长度<br>(m) | 间距<br>(m) | 直径<br>(mm) | 间距<br>(cm) | 型号<br>(I) | 间距<br>(m) | 直径<br>(mm) | 间距<br>(cm) | 长度<br>(m) |      |            |
| 实际设计 | II   | 22              | 22         | 3.5       | 0.9       | 6          | 15         | 18        | 0.8       | 50         | 35         | 4.5       | 1    | 45         |
|      | III  | 20              | 22         | 3.0       | 1.0       | 6          | 15         | 15        | 1.0       | 22         | 40         | 4.2       | 1    | 40         |
|      | IV   | 10              | 22         | 2.5       | 1.2       | 6          | 15         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0         | 1    | 35         |
|      | V    | 8               | 22         | 2.5       | 1.5       | 6          | 15         | 0         | 0         | 0          | 0          | 0         | 1    | 30         |
| 预测设计 | II   | 21              | 23         | 3.5       | 0.8       | 6          | 20         | 15        | 0.8       | 43         | 30         | 4         | 1    | 45         |
|      | III  | 17              | 22         | 3.1       | 1.1       | 6          | 20         | 14        | 1.2       | 27         | 30         | 3.9       | 1    | 39         |
|      | IV   | 10              | 22         | 2.7       | 1.5       | 0          | 0          | 0         | 0         | 0          | 0          | 0         | 1    | 33         |
|      | V    | 9               | 22         | 2.0       | 1.5       | 0          | 0          | 0         | 0         | 0          | 0          | 0         | 1    | 28         |

注：在二衬类型中，模筑混凝土用“1”表示，钢筋混凝土用“2”表示。

从表 3 中可以看出：

- (1) 喷射混凝土厚度的预测设计与设计设计很好的吻合在一起；
- (2) 锚杆设计中，II、V类预测设计比实际设计偏危险，III、IV类锚杆长度预测设计比实际设计偏安全，而间距则偏危险；
- (3) 钢筋网设计中，在，预测设计没有设置钢筋网，预测设计比实际偏危险。但是，

IV、V类围岩中一般不设钢筋网；

(4) 超前支护设计中，在II、III类围岩中，预测设计与实际设计很好的吻合在一起；

(5) 钢拱架设计中，在II类围岩，型号预测实际与实际设计相比偏小。在III类围岩，型号偏安全，而间距偏危险，认为其整体作用是一致的；

(6) 二衬设计中，预测设计比实际设计的值稍小。

除IV、V类围岩支护设计预测设计中没有设置钢筋网外，其他的类型中预测值和实际值很接近，在以工程类比法为主的隧道设计中，这样的误差是可以接受的。分析上述设计误差存在的原因：

①设计人员在公路隧道的支护设计中，应用工程类比法，凭借以往的经验，来进行公路隧道支护设计。本文搜集了三个设计院的公路隧道设计资料，各设计人员的设计经验不同，同一隧道的设计结果存在一定的差距，而人工神经网络训练是得到了各设计人员经验的普遍规律，故存在一定量的误差。

②在人工神经网络训练中，要能真正反映各影响因素的权值大小，样本资料必须有代表性和全面性。本次没有考虑少量设计类型，故存在预测值的误差。

③有关公路隧道支护设计影响因素，本文考虑了最主要的9个因素，还有一些次要的因素没有考虑进去。

通过在其他两座公路隧道中的应用，同样得到比较满意的结果<sup>[3]</sup>。因此总的来说，人工神经网络对公路隧道支护设计预测中的偏危险与偏安全均存在，并且各项预测设计与实际设计的相对误差也不大。所以，利用人工神经网络技术进行公路隧道支护设计，相对于目前以工程类比法为主的设计方法来说，是完全可行的。

## 6. 结论

人工神经网络在处理公路隧道支护设计中的有很强的优势，应用神经网络技术进行公路隧道支护设计，不但方法可行性而且结果可靠。对改善目前的工程经验类比法、实现工程经验类比法的计算机程序化开辟了一个广阔的前景。

## 参考文献

1. 袁曾任，人工神经网络及其应用技术，清华大学出版社，1999
2. 中华人民共和国行业标准：《公路隧道设计规范》(JTJ 026-90)，人民交通出版社，1990
3. 裘军良，公路隧道围岩判别和支护设计人工神经网络方法的研究，长安大学硕士论文，2003.5
4. 楼顺天、施阳，基于MATLAB的系统分析与设计，西安电子科技大学出版社，1998

## The Application of Artificial Neural Network in Highway Tunnel's Support Designing

Xia Yongxu Qiu Junliang

(Highway College, Chang'an University, Xi'an, 710064)

**Abstract:** Using the superiority of the artificial neural network in highway tunnel's support designs, selecting representative design examples, from which characteristic parameters are extracted and regressed, thus the neural network training stylebook is formed. A BP neural network execute program is compiled in MATLAB and after training, it leads to steady neural network, which is used in practical project prediction. By comparison and analysis, the feasibility and reliability of artificial neural network in highway tunnel's support design are verified.

**Key words:** BP neural network; highway tunnel; support design; prediction