



# ANN 层状介质结构识别方法 的鲁棒性研究<sup>1)</sup>

吴今培 段方勇

黄载禄

(五邑大学信息科学研究室 广东省江门市 529020)

(华中理工大学 武汉 430074)

**摘要** 通过对理论信号和实测信号的分析,研究了人工神经网络对层状介质结构识别的鲁棒性,分析了层状介质物理参数的变化对神经网络识别效果的影响.实验结果表明,各介质参数在一定范围内变化时,所得神经网络具有较强的鲁棒性.该研究结果反映出利用神经网络进行层状介质结构识别具有较强的实用价值.

**关键词** 人工神经网络,层状介质结构识别,鲁棒性

## 1 问题的提出

在许多工程中,存在识别层状介质结构问题<sup>[1]</sup>,如石油固井质量检测.

由于实际井眼中,套管、水或水泥的厚度是变化的,同时地层的声学参数也是变化的,所以从井下实测的回波信号必定是复杂的信号集合.采用200—800kHz的超声波,采集自井壁返回的信号,用人工神经网络来对信号进行分类识别<sup>[1]</sup>.本文从实验上研究了神经网络对层状介质回波结构识别的鲁棒性,证明了神经网络能对复杂信号进行有效的识别.

## 2 层状介质回波信号的特征提取及网络结构

### 2.1 信号获取及其特征提取

采用中心频率为360kHz的超声换能器,垂直于层状介质,发射单脉冲.换能器采集回波的全波列信号并数字化,用二相码传至处理端,经均衡放大,解码后送入计算机,完成实时处理、显示和记录.

从原理上讲,层状介质的介质结构信息应该是完整地包含在回波信号的全波列中.因此通过信号处理,应该能够找出各界面胶结质量的信息.实践证明用频谱分析、时间序列分析等来提取各界面的信息而后进行胶结状况的评价,虽然在一定条件下,都可发现各

1) 广东省自然科学基金、广东省高教厅重点学科基金资助.

界面的胶结特征,但在实际应用中都不具备鲁棒性.究其原因,是当层状介质结构变化时,信号特征会相应变化,在数量关系上并不具备唯一性.很难用传统模式识别的方法找到一个固定判据来评价其胶结质量.然而神经网络方法则不同,它具有对多种因素的记忆能力.将全波列信号经处理提取特征,而后交神经网络去评价各界面的胶结质量,发现神经网络识别方法明显优于模式识别法.

由于层状介质中介质参数不同,回波也相应变化,可以找出相应于各类介质结构引入的特征,但通常不具有唯一性,尤其是各层介质的参数变化时更是如此.考虑在工程实际中,套管的厚度可因腐蚀而变薄,套管与地层之间的水泥厚度可能从几毫米变至几十毫米甚至几百毫米,而且是不可知的,由于多种因素可能在套管与水泥或水泥与地层之间形成间隙,间隙的厚度是多变的.所有这些都会引起回波信号参数的变化.问题是各层介质的物理参数变化时,神经网络是否仍能识别出四种不同的介质结构?这一方面关系到回波的信号特征,另一方面也决定于神经网络对回波信号的识别能力.

## 2.2 网络结构

采用三层 BP 神经网络.输入层有 32 个神经元,隐含层有 8 个神经元,输出层有 4 个神经元分别对应于:第一界面胶结不好,第二界面也胶结不好;第一界面胶结不好,第二界面胶结好;第一界面胶结好,第二界面胶结不好和第一界面胶结好,第二界面也胶结好四类介质结构.

研究神经网络对复杂信号的识别能力,其中一个问题是如何获取回波信号.就固井而言,其物理模型是层状介质结构,实际上不可能制作无限多的介质模型,即使制作也不可能准确控制模型各层物理参数,从而影响数据的可信度.为了得到可信的数据,必须依赖于它的物理模型.

## 3 层状介质回波信号的理论模型<sup>[2]</sup>

为了分析神经网络对层状介质结构识别的鲁棒性,必须有正确的标准信号.本文介绍的理论模型,可以产生用于评价神经网络识别能力的标准信号.

设发射信号  $g(t)$ , 经 FFT 后得到其频域信号为  $G(f)$ . 设某一层状介质结构的频域模型为  $H(f)$ , 则其回波的频域信号为  $P(f) = G(f) * H(f)$ , 因此需寻求层状介质的频域数学模型.

假设各层介质均匀有耗,介质分界面均为平行平面,超声换能器置于第 0 层介质(该层介质通常为水,是无耗的)中,声波垂直入射于介质分界面上.各层介质厚度分别为  $h_n$ , 其相应的声学参数分别为  $\rho_n$ (密度)、 $K_n$ (压缩率)、 $\Phi_n$ (导热损耗系数). 设第  $n$  界面上的声压和振速分别为  $P_n$  和  $Q_n$ , 则在层状介质的输入界面(1)到输出界面( $N$ )上各有两个变量. 因此,此层状介质系统等效为有两个输入量和两个输出量的四端网络,这个四端网络的参数可以写成矩阵  $[A_{ij}]$  ( $i, j = 1, 2$ ). 则层状介质的频域数学模型即频率特性函数  $H(j\omega)$  为<sup>[2]</sup>

$$H(j\omega) = \frac{\sigma_N A_{11} + \sigma_0 \sigma_N A_{12} - A_{21} - \sigma_0 A_{22}}{\sigma_N A_{11} - \sigma_0 \sigma_N A_{12} - A_{21} + \sigma_0 A_{22}} \exp[2\gamma_0(j\omega)x]. \quad (1)$$

实验证明(1)式是正确的,它与从相应层状介质系统中采集的实际回波几乎完全一

致<sup>[3,4,5]</sup>.

## 4 神经网络对层状介质结构识别的鲁棒性研究

井眼中套管、水的参数为已知,设水泥为中等标号,地层为中等硬度地层(砂岩),均取相应声参数代入(1)式.令套管的厚度在 7—9mm 之间变化,每次变化 0.01mm,令水的厚度在 0.01—30mm 范围内变化,每次变化 0.01mm.水泥厚度在 5—55mm 内变化,每次变化 1mm,地层为半无限介质,设其声阻抗从泥岩变至白云岩的相应值.共采集了 600 多个样本来训练网络.然后令各层介质的厚度发生变化,约采集了 4 000 多个样本再加入噪声(其信噪比为 25dB)后交由已训练好的神经网络识别,正确识别率大约为 94%,分析该神经网络的识别结果可得如下结论:1) 当套管厚度  $S_d(\text{mm}) \in [7.6, 8.4]$  时,该神经网络能正确识别,当  $S_d < 7.6$  或  $S_d > 8.4$  时,该神经网络不能正确识别;2) 当水层厚度  $W_d(\text{mm}) < 0.1$  时,该神经网络不能识别出水层,当  $W_d > 0.1$  时,能正确识别出水层;3) 当水泥厚度  $C_d(\text{mm}) \in [5, 55]$  时,均能正确识别;4) 地层声阻抗变化不影响识别.

研究结果表明,人工神经网络适应套管、水层、水泥层的厚度等参数在一定范围内变化,而不影响介质结构的识别,即具有较强的鲁棒性.这一研究结果确认了人工神经网络对固井质量检测的适应价值.

为了验证该方法对实测层状介质结构识别的正确性,模拟了分层介质结构,制作了与前述相应的四类分层介质模块,用数据采集系统实测各模块的相应回波,每类各取一部分回波信号训练网络,再利用已训练好的网络对另一部分信号进行识别,正确识别率达 92% 以上.

## 5 结论

本文针对工程实际需要识别层状介质结构,研究了神经网络对层状介质结构识别的鲁棒性.实验结果表明,各介质参数在一定范围内变化时,所得神经网络具有较强的鲁棒性,符合应用需要.

### 参 考 文 献

- 1 黄载禄,段方勇,屈万里.多级 BP 神经网络石油测井信号分类器.地球物理学报,1994,37(Sup I):562—568
- 2 段方勇.层状介质中超声回波信号的分析、处理和应用[博士学位论文].武汉:华中理工大学,1992
- 3 段方勇,黄载禄,万发贯.研究均匀损耗介质中声波传播特性的一种新方法.华中理工大学学报,1992,20(4):55—60
- 4 段方勇,黄载禄,屈万里等.基于一维波动方程重建层状介质声阻抗图的新算法.电子学报,1993,21(9):27—33
- 5 吴今培.动态数据的稳健处理.信号处理,1995,11(4):256—264

## STUDY ON THE ROBUSTNESS OF NEURAL NETWORK FOR LAYERED MEDIA STRUCTURE RECOGNITION

WU JINPEI DUAN FANGYONG  
(Wuyi University, Jiangmen, 529020)

HUANG ZAILU  
(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan, 430074)

**Abstract** The robustness of artificial neural network is a key to the recognition using artificial network for layered media structure recognition. In this paper, the robustness of neural network for layered media structure recognition is studied by analyzing the theoretical simulative signal and measured signal from real layered media. The study shows that the media parameter does not affect the recognition of the neural network, and that the neural network scheme is practical.

**Key words** Neural network, layered media structure recognition, robustness

### 中国自动化学会第七届理事会 理事长、副理事长、秘书长、常务理事及副秘书长名单

(一九九七年十月六日七届一次理事会选举产生)

荣誉理事长:杨嘉墀

理事长:戴汝为 陈翰馥

副理事长:(以姓氏笔划为序)

于常友 马颂德 吕勇哉 孙优贤 孙柏林 李衍达 席裕庚

秘书长:张恭清

常务理事:(以姓氏笔划为序)

于常友	于景元	马少梅	马正午	马颂德	王天然	王正中	王常力
王璐璐	毛剑琴	石青云	冯记春	冯纯伯	吕勇哉	伍芬鉴	孙优贤
孙柏林	孙德敏	江志道	刘 玠	刘良栋	刘积仁	刘毓满	任德祥
邹广瑞	李人厚	李光泉	李衍达	杨竞衡	吴 澄	吴惕华	宋 健
张 钹	张 铨	张开逊	张鸿哲	陈振宇	陈翰馥	郑大钟	胡启恒
郭 雷	郭城忠	顾绳谷	席裕庚	高津京	涂序彦	徐孝涵	秦 忆
秦化淑	秦德昌	柴天佑	凌惟侯	凌德麟	曹希仁	黄 琳	梁天培
龚至豪	龚炳铮	路甬祥	裘玉瑞	熊范纶	戴汝为	戴冠中	

副秘书长:(经七届一次常务理事会通过)

马正午 毛剑琴 龚至豪 周东华 李爱国 王 红