

# 基于 RBF 神经网络的测斜仪方位角校正研究\*

邵婷婷 张博超 周美丽 陈媛  
(延安大学物理与电子信息学院 延安 716000)

**摘要:**本文介绍了国内常用磁性电子测斜仪的结构和测斜原理,分析了其本身和工作过程中可能存在的误差及其来源。针对井眼姿态测量中的主要测量参数之一方位角,基于径向基函数(RBF)神经网络补偿算法,建立了以实测井斜角和方位角构成的二维向量为输入、标准方位角构成的一维向量为输出的三层 RBF 神经网络模型,并用实际测斜仪的测量数据进行现场测试。测试结果表明,采用该 RBF 神经网络补偿算法,建模时间短,可将方位角的实际测量精度从 $\pm 2.1^\circ$ 提高至 $\pm 1.9^\circ$ 以内,误差补偿效果好。

**关键词:**磁性测斜仪;方位角;RBF 神经网络;误差补偿

**中图分类号:** TN98      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 520.2060

## Research on error compensation of azimuth based on RBF neural network

Shao Tingting Zhang Bochao Zhou Meili Chen Yuan  
(College Of Physics and Electronic Information, Yan'an University, Yan'an 716000, China)

**Abstract:** The structure and measurement principle of common magnetic dip meter are introduced in this paper, whose possible error and its source are analyzed. For the azimuth, one of the main parameters of borehole attitude measurement, a three layers RBF network is established based on RBF neural network compensation algorithm, which input is a two dimensional vector which is made of measured deviation angle and azimuth, and output is the expected azimuth, and the sampling data of the magnetic dip meter are used to test. The experiment results show that, the modeling time of the RBF neural network compensate algorithm is short, and the azimuth precision can be improved from  $\pm 2.1^\circ$  to  $\pm 1.9^\circ$  or better.

**Keywords:** magnetic dip meter; azimuth; RBF neural network; error compensation

### 1 引言

油井井眼的姿态测量是地球物理测井技术的主要组成部分,井眼的姿态测量主要由测斜仪器测量的井斜角、方位角等参数来描述<sup>[1]</sup>,其中仪器在水平面上的投影与磁北方向间的夹角称为井斜方位角,它反映的是被测井眼偏离磁北方向的程度<sup>[2]</sup>。油井是否按照要求的走向钻探,关系着这口井最终能否达到油层并且出油<sup>[3]</sup>。目前国内的测斜仪器主要是磁性电子测斜仪、陀螺测斜仪和随钻测斜仪<sup>[4]</sup>,由磁通门和加速度计构成的磁性电子测斜仪,因成本低、精度和灵敏度满足大多数油田井斜方位的测量需求而广泛应用在国内外各大油田<sup>[5]</sup>。测斜仪方位角的测量

范围为 $0^\circ \sim 360^\circ$ ,由于我国的芯片研究及生产技术落后于国外,国外测斜仪方位角的测量精度为 $\pm 1^\circ$ ,而国内测斜仪方位角的测量精度仅为 $\pm 2^\circ$ <sup>[6]</sup>。随着油田开发程度的不断加深,对井眼测量精度的要求也越来越高。焦仓文等人<sup>[7]</sup>基于 AMR 磁阻式和 MEMS 重力加速度传感器研制了数字式连续测斜仪,并采用九位置法进行了修正,使方位角精度达到 $\pm 1.5^\circ$ ;郭宏等人<sup>[8]</sup>基于磁阻传感器和加速度传感器设计了定向钻进测量系统,并采用椭圆假设法对是有定向钻具进行了误差校正,方位角误差在 $\pm 1.75^\circ$ ;本文并未对测斜仪进行设计和研制,而是对国内常用的磁性电子测斜仪,基于径向基 RBF 网络函数,对测量的方位角建立了以实测井斜角和方位角构成的二维向量为输入、标

收稿日期:2015-09

\* 基金项目:延安市科学技术研究发展计划项目(2012KG-02)、陕西省科技厅项目(2014JQ02-6031)、陕西省教育厅项目(15JK1827)、陕西省 2015 年省级大学生创新训练基金项目(1414)、延安大学国家级大学生创新创业训练计划项目(201510719265)

准方位角构成的一维向量为输出的三层 RBF 神经网络模型,并进行了现场测试。测试结果表明,采用该 RBF 神经网络补偿算法,可将测斜仪方位角的测量精度从±2.1°提高至±1.9°以内。

## 2 测量原理

目前各大油田常用的磁性电子测斜仪,其核心是由 3 轴磁通门和加速度传感器及其相关电路组成。3 个磁通门传感器按照正交方式沿测斜仪轴线安装,分别感测载体坐标系下地球磁场 X、Y、Z 轴的分量  $U_{x1}$ 、 $U_{y1}$ 、 $U_{z1}$ ,加速度传感器通过感知地球重力加速度  $g$  测量其在 3 个正交测量轴上的分量  $g_x$ 、 $g_y$ 、 $g_z$ ,根据相关理论式<sup>[9]</sup>,可求得折算到地球坐标系中同一方位地磁场在 X 轴和 Y 轴的分量  $H_x$  和  $H_y$ ,则方位角  $\varphi$  可根据式(1)求得,井斜角  $\theta$  可根据式(2)求得<sup>[10]</sup>。

$$\varphi = \arctan(H_y/H_x) \quad (1)$$

$$\theta = \frac{\sqrt{g_x^2 + g_y^2}}{g_z} \quad (2)$$

测斜仪方位角的测量范围为 0°~360°,国内测斜仪方位角的测量精度为±2°,影响方位角测量精度的因素有很多,如传感器数据的测量精度、传感器在仪器坐标系上的安装误差、温度的影响和井眼环境的磁干扰等。可根据误差的来源建立校正模型以提高测量精度,但是由于误差复杂多样,建立准确的数学模型比较困难<sup>[11]</sup>。神经网络技术不需要建立准确的数学模型,对采集的方位角学习样本进行建模训练,使之高精度逼近测斜仪方位角的输入与输出之间的非线性关系,即可提高测量精度。

## 3 RBF 神经网络误差补偿模型建立

### 3.1 RBF 神经网络

径向基函数神经网络(radical basis function,RBF)是一种局部逼近的前馈神经网络,具有学习速度快、全局最优和最佳的逼近性能。RBF 网络一般是由输入层、输出层和隐含层组成的 3 层前向网络:输入层由信号源节点构成;隐含层用径向基函数作激励函数,一般为高斯函数;输出层通常是简单的线性函数,对输入模式的作用做出响应。在 RBF 神经网络中,从输入层到隐含层的变换是非线性的,其权值固定为 1,而从隐含层到输出层的变换是线性的,其权值不定,需要训练以达到最优<sup>[12]</sup>。

RBF 神经网络收敛速度快且不存在局部极小问题, MATLAB 中提供的标准函数 newrb 是利用误差纠正算法编制的函数,在处理问题时,该函数可以直接调整网络参数,自动选择隐含层等各参数,使误差的数量级达到一定的要求,从而建立精确的误差校正模型。

### 3.2 方位角误差模型的建立

学习样本测试点的选取关系到误差校正模型的可靠性,既要反映出测斜仪方位角输出数据的特点,又要覆盖测斜仪实际应用中的测量范围。根据调研,鄂尔多盆地中心地带的陕北石油基地,油井的井斜范围相对比较集中,多分布在 10°~35°。因此,本文采用高精度两轴位置转台,获取了陕北地区常用磁性电子测斜仪的测试点数据,分别在井斜角 10°、14°、18°、20°、23°、25°、27°、28°、30°、32°、33°、35°时,方位角在 0°~360°每隔 30°获取取样测试点,作为方位角的训练样本,进行 RBF 神经网络模型的建立。

#### 1) RBF 神经网络结构的确定

忽略工具面角对方位角的影响,采用实测井斜角和方位角构成的二维向量为输入、标准方位角构成的一维向量为输出的三层 RBF 神经网络结构,其中隐含层径向基函数选取高斯函数。

#### 2) 径向基神经元个数的确定

在 RBF 网络训练期间,径向基神经元的个数会自动增加,以不断减小网络输出的均方误差,直到均方误差达到 GOAL 所设置的参数。经试验比较,本文均方差训练目标给定 0.000 01,选取径向基神经元个数为 3。

#### 3) 径向基函数分布密度的确定

RBF 神经网络中分布密度值 SPREAD 越大,网络收敛越快,但是因神经元响应区域交叉过多,精度会降低,故应该在保证网络训练精度的同时尽量取大的分布密度值。综合考虑精度需求和网络的性能,经过试验比较,本文最终选取的分布密度 SPREAD 值为 1。

## 4 实验数据及结果分析

网络模型建立并训练完毕之后,为了测试补偿效果,在同一实验条件下,分别对误差最大的井斜 20°时的方位角学习样本数据和井斜 15°时的方位角测量数据,作为建好的 RBF 网络模型的输入,经仿真得到补偿后的方位角。相关取样数据和测试测量数据如表 1 和 2 所示。

表 1 方位角学习样本取样数据

标准方位	标准井斜 实测方位	10°	误差	14°	误差	...	20°	误差	...	33°	误差	35°	误差
0°		0.2°	0.2°	359.3°	-0.7°	...	357.9°	-2.1°	...	0.4°	0.4°	0.6°	0.6°
30°		30.5°	0.5°	29.1°	-0.9°	...	28.6°	-1.4°	...	1.9°	31.9°	31.9°	1.9°
∴		∴		∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
210°		210°	0°	211.1°	1.1°	...	119.6°	-0.4°	...	209.9°	-0.1°	211.6°	1.6°
∴		∴		∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
300°		300°	0°	298.7°	-1.3°	...	298.1°	-0.9°	...	299.7°	-0.3°	301.8°	1.8°
330°		330°	0°	329.8°	-1.2°	...	328.9°	-1.1°	...	329.6°	-0.4°	330.3°	0.3°

表2 RBF网络误差校正后方位角测试测量数据

标准方位	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
井斜 15°的 实测方位	0.3°	29.3°	58.7°	89.2°	118.4°	149.9°	181.9°	210.8°	238.6°	268.8°	300.3°	330.8°
误差	0.3°	-0.7°	-1.3°	-0.8°	-1.6°	-0.1°	1.9°	0.8°	-1.4°	-1.2°	0.3°	0.8°
井斜 20°的 实测方位	0°	30.2°	61.5°	89.2°	119.6°	150.1°	179.8°	208.4°	240.3°	269.6°	299.2°	330.1°
误差	0°	0.2°	1.5°	-0.8°	-0.4°	0.1°	-0.2°	-1.6°	0.3°	-0.4°	-0.8°	0.1°

由实验数据可知,转台上实测方位角补偿前在井斜 20°时,误差最大可达±2.1°,经过 RBF 神经网络补偿后方位角训练样本和测试数据的校正误差均在±1.9°以内,方位角的测量精度得到了改善。

### 5 结 论

对国内常用的磁性电子测斜仪,针对井眼姿态测量主要参数之一的方位角,基于径向基函数神经网络补偿算法,建立了以实测井斜角和方位角构成的二维向量为输入、标准方位角构成的一维向量为输出的三层 RBF 神经网络模型,并用测斜仪的采样数据进行现场测试,测试结果表明,该 RBF 神经网络误差补偿效果好,方位角精度可提高至±1.9°以内。

### 参 考 文 献

- [1] 于艳军,伍川辉.智能测斜仪的设计[J].中国测试技术,2008,34(2):78-80.
- [2] 谢川.一种基于磁强计和倾角传感器的钻井测斜仪[J].仪器仪表学报,2010,31(10):2357-2362.
- [3] XU T, LIU C H, HUANG Q B. Research and design of a measurement-while-drilling system for horizontal directional drilling[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(9): 1976-1980.
- [4] 王丽艳,赵建辉,李帆.基于RBF神经网络的井眼方位角误差建模及补偿[J].系统仿真学报,2007,19(17):4097-4100.
- [5] 付浩.钻进中导向工具姿态随钻动态测量[D].西安:西安石油大学,2010.
- [6] 邝学农.连续测斜方法的研究和仪器设计[D].西安:西安石油大学,2007.
- [7] 焦仓文,陆士立,邓明,等.基于磁阻和重力加速度传感器的数字连续测斜仪[J].自动化与仪器仪表,2014(2):65-67.
- [8] 郭宏,姚爱国.定向钻进姿态测量系统的设计及误差分析和补偿[J].仪表技术与传感器,2013(11):88-90.
- [9] 王涛,宋立维.车载经纬仪的测量误差修正[J].仪器仪表学报,2012,33(2):469-473.
- [10] 佟刚,宋立维,曹永刚,等.车载光测设备测角误差影响因素的分析[J].电子测量与仪器学报,2014,28(9):974-979.
- [11] 尤文坚.现代传感器输出特性拟合技术研究进展[J].国外电子测量技术,2013,32(10):25-27.
- [12] 邵婷婷,樊延虎,林开东.基于RBF神经网络的电子罗盘误差补偿研究[J].电子测量技术,2014,37(3):36-38.

### 作 者 简 介

邵婷婷,1982年出生,工学硕士,讲师。主要研究方向为智能信息处理与智能控制。  
E-mail:retastt@126.com