

# 基于数据融合的原油含水率在线测量方法研究

王艳菊<sup>1</sup>, 康岳屹<sup>1</sup>, 王怀玉<sup>2</sup>

(1. 河北师范大学 电子系, 河北 石家庄 050024; 2. 大港油田采油二厂, 河北 黄骅 061100)

**摘要:**在电容式传感器作为含水率测量敏感元件的测量系统中,采用基于神经网络的多传感器数据融合方法对数据进行处理,建立多传感器信息融合模型,补偿由于温度变化对含水率测量结果的影响,提高测量结果的准确性。实验表明,数据融合后的输出值更能逼近实际的含水值。

**关键词:**电容式传感器;多传感器数据融合;原油含水率;BP神经网络; Matlab

**中图分类号:** TE319; TN712 **文献标识码:** A

## Study on Water Content of Crude Oil Measurement Based on Information Fusion Technology

WANG Yanju<sup>1</sup>, KANG Yueyi<sup>1</sup>, WANG Huaiyu<sup>2</sup>

(1. Dept. of Electronic Engineering, HeBei Normal University, Shijiazhuang, 050024, China;

2. Second oil Recovery Factory of Dagang Oil Field, Huanghua 061100, China)

**Abstract:** Capacitive sensor is used as sensitive element in water content measuring system. Multi-sensor information fusion technique based on artificial neural network is adopted to deal with data. By setting up multi-sensor information fusion model, the influence due to temperature variation is compensated to improve the accuracy of the measurement result. Experimental results indicate that the output value after information fusion can be more approach to the experimental data in real field.

**Key words:** capacitive sensor; multiple sensor information fusion; water content; BP neural network; Matlab

### 0 引言

原油含水率在线准确计量对原油生产企业估计产量、预测油井开发寿命、掌握生产动态及确定产量分配等起重要的作用。我国大多数原油生产企业对成品原油含水率的分析测量仍使用传统的人工方法,取样周期长,化验过程繁琐。当含水率变化较大时,用人工化验方法得到的含水率数值实际是平均含水率数值,存在较大误差。为提高计量精度,近年来,在线含水率测量仪表已得到越来越广泛的应用,不仅降低了取样化验的劳动强度,且提高了含水率测量的科学合理性。然而对于原油生产、输送现场环境的复杂性考虑不足,一些在线仪表本身的设计缺陷使其在使用过程中存在准确度不高,不能长期稳定工作等问题。就电容式传感器作为敏感元件进行原油含水率检测的系统而言,由于含水导电效应及液体的介电常数受温度的影响,致使电容式含水率测量仪表存在测量范围受限,系统性能不稳定,测量

精度较低等问题<sup>[1]</sup>。针对这些问题,本文提出了在电容式含水率测量系统中,改进电容式传感器探头的结构,扩展电容式含水率测量系统的测量范围,改善测量系统的稳定性,利用多传感器数据融合技术进行数据处理,补偿由于温度变化对含水率的影响,提高测量系统的测量精度。

### 1 检测系统原理与结构

#### 1.1 检测系统基本原理

多传感器信息融合是指利用多个传感器的输出推断出一个相对更完善的单一信息。对于多个传感器所获得的信息进行综合处理,利用多传感器之间的互补信息扩展单个传感器的性能,降低单一传感器信息的不确定性。基于数据融合的原油含水率测量系统框图如图1所示。测量时将传感器探头插入被测原油中,电容式传感器检测其含水率,温度传感器检测温度,两路电压信号经滤波电路和放大处理后送入数据采集卡进行A/D转换、处理,显示。

收稿日期:2012-07-12

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(F2010000436),石家庄市科学研究基金资助项目(10113261A)

作者简介:王艳菊(1967-)女,河南淇县人,教授,工学博士,主要从事传感检测技术方面的教学与科研工作的研究。已发表相关科研论文40余篇。

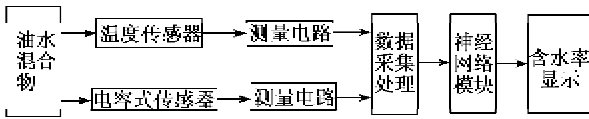


图1 测量系统原理框图

### 1.2 电容式传感器的结构

电容式传感器将原油含水率信号转换为电信号。本文对电容式传感器进行了自均流和内电极的特殊设计。传感器结构仍采用同心套筒结构,在内电极的外表面均匀涂敷钛氟纶绝缘层,使原油不再接触内导体,极化电场的电力线起始于内导体外表面,穿过绝缘层和被测物体终止在外导体内表面。同时保证厚度均匀,表面光滑且无针眼,由于其具有耐油耐水和极好的憎水性,可消除含水导电效应,使含水率测量范围达100%。

图2为传感器的探头结构:设传感器外电极内直径为 $R$ ,内电极外直径为 $r$ ,钛氟纶涂层厚度为 $\delta$ ,电极长度为 $l$ ,绝缘材料的相对介电常数为 $\epsilon_1$ ,被测原油介电常数为 $\epsilon_2$ , $\epsilon_0$ 为真空介电常数。探头的总电容为绝缘层形成的电容与被测原油形成电容的串联,其计算式为

$$C_x = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_1\epsilon_2 l}{\epsilon_1 \ln \frac{R}{r+\delta} + \epsilon_2 \ln \frac{r+\delta}{r}} \quad (1)$$

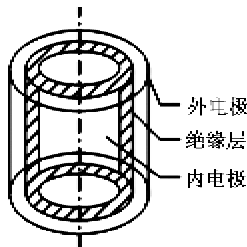


图2 传感器探头结构

考虑到绝缘涂层很薄,忽略传感器的边缘效应,由式(1)可得

$$C_x \approx \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln(R/r)} \epsilon_2 = k\epsilon_2 \quad (2)$$

式(2)表明,一定几何尺寸的电容器的电容量是待测介质介电常数的单值函数。所以可将被测介质的介电常数的变化值转化成相应的电容量输出。

### 1.3 基于神经网络的多传感器信息融合技术

人工神经网络由大量简单的处理单元广泛互连而成,具有极强的学习能力和泛化能力,其强大的非线性映射能力可很好地实现非线性校正,且具有很高的拟合精度。BP神经网络是模拟人脑的信息处理机制而构造出来的一种并行信息处理模型,常被用来对2个估计模型的输出结果进行有效的分析和综合,提高估计的精度和可靠性<sup>[2-4]</sup>。

考虑到原油温度的变化对其含水率数值的影响,原油含水率在线测量系统就是一个受多因素影响的非线性系统。以温度传感器和电容式传感器的输出为神经网络的输入量建立神经网络模型,利用神经网络模型来预测原油含水率,可解决在测量系统中硬件电路很难实现的多变量信号处理问题。借助样本数据,就可对系统实现由输入到输出的高度非线性映射。图3为系统采用BP神经网络结构。

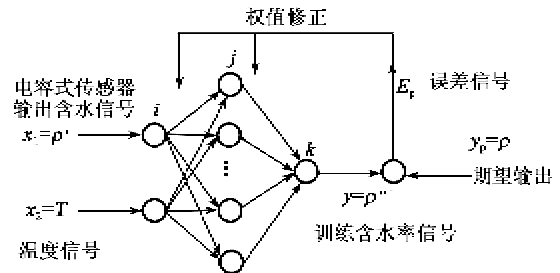


图3 BP网络结构

由图3可知,建立的BP神经网络模型以电容式传感器的输出含水信号和温度传感器的信号为输入信号,当温度变化时,要求模型的输出信号即训练含水率输出信号 $\rho''$ 以某个允许的偏差接近含水率实际值 $\rho$ (即我们的期望输出值)。i, j, k 分别是输入层、隐层、输出层的神经元序号,  $i=2, k=1, j=1, 2, 3, \dots, l$ (本文  $l=6$ )。图中同一层的神经元互不相连,相邻层的神经元通过连接权值相联系。学习训练过程由两部分组成:网络输入信号正向传播和误差信号反向传播,按照有导师学习方式训练。在正向传播中,输入信息从输入层经隐含层传向输出层,如果输出层得不到期望输出,则误差转入反向传播,按照减小期望输出与实际输出误差的原则,从输出层经到隐含层,最后回到输入层,层层修正各个连接权值,随着误差信号逆向传播,训练不断进行,神经网络对输入模式响应的正确率不断提高,如此直到误差信号小于系统的允许偏差为止<sup>[5-6]</sup>。如果激发函数采用 sigmoid 型,则输入层第 i 个节点输入为

$$N_i = \sum_{i=1}^2 x_i + \theta_i \quad (3)$$

式中: $x_i$ 为神经网络的输入; $\theta_i$ 为第 i 个节点的阈值。对应的输出为

$$a_i = f(N_i) = \frac{1}{1 + \exp(-N_i)} = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{j=1}^i x_j - \theta_i)} \quad (4)$$

隐层的第 j 个节点的输入为

$$N_j = \sum_{i=1}^l \omega_{ji} a_i + \theta_j \quad (5)$$

式中:  $\omega_{ji}$  为隐层的权值;  $\theta_j$  为第  $j$  个节点的阈值。对应的输出为

$$a_j = f(N_j) = \frac{1}{1 + \exp(-N_j)} = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{i=1}^l \omega_{ji} a_i - \theta_j)} \quad (6)$$

输出第  $k$  个节点的输入为

$$N_k = \omega_{jk} a_j + \theta_k \quad (7)$$

式中:  $\omega_{jk}$  为输出层的权值;  $\theta_k$  为第  $k$  个节点的阈值。对应的输出为

$$y_k = f(N_k) = \frac{1}{1 + \exp(-N_k)} = \frac{1}{1 + \exp(-\omega_{jk} a_j - \theta_k)} \quad (8)$$

若系统允许偏差为  $\epsilon$ , 则误差判断规则:

$$e = \frac{1}{l} \sum_{k=1}^l (\rho'' - \rho)^2 \leq \epsilon \quad (9)$$

## 2 实验结果

用训练样本按照图 4 所示的 BP 学习算法可得到 BP 神经网络对应各输入、输出的权值和阈值, 再用检测样本检验网络能否给出正确的输入-输出的关系<sup>[7]</sup>。利用 Matlab 对样本进行离线训练, 其误差曲线如图 5 所示。

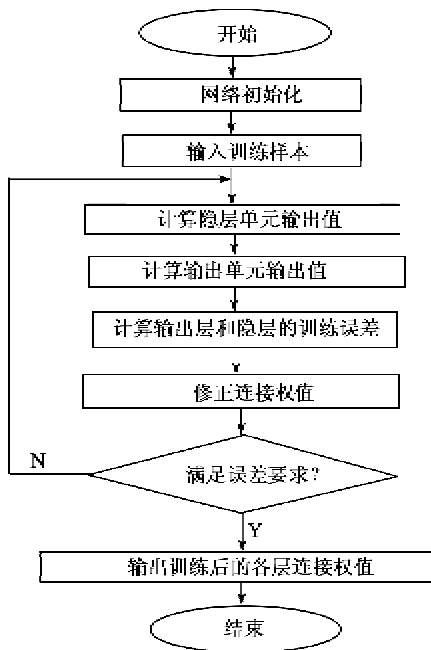


图 4 BP 学习算法

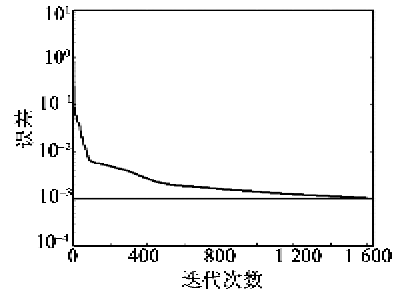


图 5 离线训练误差曲线

利用 C 语言编程构造此神经网络, 嵌入到系统软件中, 将现场采集的电容式含水率检测传感器的信号和温度信号输入到神经网络, 神经网络的输出就是补偿后的含水率数值。

在原油温度 55 °C 时, 与实验室密度法对原油取样, 多次测量结果对照, 如表 1 所示。表中,  $\rho'$  为电容法测量含水率数值,  $\rho$  为取样化验含水率,  $\rho''$  为神经网络输出值。由表可看出, 神经网络的输出值比电容式含水仪的直接输出值更逼近取样化验值, 更能反映原油的实际含水情况。

表 1 多次测量结果对照

$\rho' / \%$	$\rho / \%$	$\rho'' / \%$	$\rho' / \%$	$\rho / \%$	$\rho'' / \%$
87.6	89.2	88.8	81.0	79.9	80.6
96.3	95.1	95.8	57.8	56.1	56.9
81.5	83.0	82.6	27.5	29.0	28.8
90.4	89.0	89.9	44.3	45.2	45.6
87.3	88.8	87.9	33.1	34.3	33.8

## 3 结束语

针对电容式原油含水率测量仪表在实际应用过程中存在的问题, 本文在分析现场实际情况的基础上, 对电容式传感器的结构和内电极进行了改进, 并利用 BP 神经网络技术对传感器的输出信号进行在线数据融合, 设计了基于多传感器信息融合的原油含水率检测系统, 系统对原油含水率进行了在线温度补偿, 提高了测量精度。如果考虑影响原油含水率的更多因素, 建立数据融合模型, 可进一步提高系统的测量精度。

### 参考文献:

[1] 王莉田, 王玉田, 史锦珊, 等. 原油含水率测量仪的研究 [J]. 传感技术学报, 2000, 13(1): 44-47.  
 [2] 何友, 王匡宏, 陆大金, 等. 多传感器信息融合及应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.

(下转第 748 页)