

改进 BP 神经网络在流型判别中的应用

王妍芫, 林宗虎

(西安交通大学 能源与动力工程学院, 陕西 西安 710049)

摘 要: 提出了一种应用人工神经网络进行流型判别的新方法。采用了自适应梯度下降法和改进模拟退火法等措施, 加快了 BP 网络的收敛速度, 增强了其跳出局部极小值的能力, 提高了神经网络模拟非线性系统的能力, 并分析了可作为流型判别用的神经网络的输入参数、输出参数。为了证实该方法的可行性, 应用前人的实验数据进行验证。证实该方法是一种十分有效的两相及多相流流型判别方法。

关 键 词: 神经网络; 两相流; 多相流; 流型判别

中图分类号: TP183 文献标识码: A

1 前言

由于大容量火电机组, 大型石油化工设备的运行, 核能的利用以及海上油气田开采等, 两相及多相流流动与传热特性的研究越来越受到人们的重视。两相及多相流流动与传热特性与流型有非常密切的关系, 在不同的流型下, 起着主导作用的力不同, 相界面的形态以及相间作用也不相同, 所以具有不同的流动及传热特性。目前两相流流型界限判别方法概括起来有两种, 一种借用流型图来判别, 即根据试验数据总结而成的图形判别。如油气工业应用较普遍的是按照 Baker 流型和 Mandhane 流型图进行计算^[1], 但流型图仅适用于手工计算, 费时费力, 而且只能计算稳态流动。另一种方法是用解析表达式表示流型转换界限, 如 Taitel 和 Dukler 做了开创性工作^[2]。尽管近年来对影响流型的各种因素都进行了研究, 不断有新的流型转换准则出现^[3], 但都有局限性。这些解析关系式易出现流型的非单一性, 如对一个给定的含液率, 可能对应几种流型; 多数解析式只能用于稳态流动与传热特性的计算; 由于其流动机理复杂, 流型种类很多, 影响因素也很多, 很难用一个通用表达式来描述流型界限, 因而现有的表达式很难适用于较宽的参数范围。而多相流流型判别方法研究更少。因此, 需要寻找新的判别方法。

神经网络是由简单结构和规则复合而成的高级复杂的非线性系统, 它具有学习能力、记忆能力、计算能力以及各种智能处理功能, 它在不同程度和层次上模仿人脑神经系统的信息处理, 存储及检索功能。目前正处于空前活跃的发展阶段, 成为现代脑神经科学、数理科学及信息科学等交叉、综合的前沿科学。在模式识别、故障诊断、信息处理和类似的应用中很具优势。本文中作者将神经网络技术应用于流型判别, 开发了一种新的流型判别方法。

2 在流型判别中神经网络方法的提出

神经网络的研究已成为当代人工智能领域最富挑战性和最引人入胜的研究热点。它不仅给新一代智能计算机的研究带来巨大影响, 而且将推动神经网络在其它工程领域的应用。神经网络的主要应用领域之一是模式识别, 模式识别的目标是研究类似人脑那样高级识别方法和识别系统, 语言识别就是模式识别中一个成功例子。由于神经网络的自学、自组织和并行分布处理等特点, 神经网络的识别系统具有明显的优势。两相及多相流流型的判别实际上是一种模式识别。

两相及多相流流动与传热特性是非常复杂的, 流型判别很困难, 若要用明确集合来描述困难重重, 但神经网络作为一种抽取不易明确表达的知识和经验的方法在流型判别中将会发挥重要作用。基于此, 作者尝试将神经网络应用于流型界限识别。神经网络模型中使用最广泛是反向误差传播神经网络简称 BP 模型。BP 模型已被认为是把重回归分析扩充到非线性领域的一种方法。BP 模型算法的学习过程由正向传播和反向传播两部分组成, 误差函数的求取是一个始于输出层的反向传播的递归过程, 通过多个样本的反复训练, 并采用最快下降法, 使得权值沿误差函数的负梯度方向改变, 并收敛于最小

收稿日期: 2000-01-24; 修订日期: 2000-07-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59995460)

作者简介: 王妍芫(1965-), 女, 吉林鞍山人, 西安交通大学副教授, 副所长

点。BP模型的算法是很有效的,但也存在一些缺陷,主要是算法收敛速度较慢,且常遇到局部极小。为了克服这些缺陷,便于神经网络在流型判别中应用,本文对BP模型进行改进,发展了一种神经网络权系数训练的快速优化算法,提高了神经网络识别流型的效果。

3 流型判别用神经网络的构成——改进BP网络

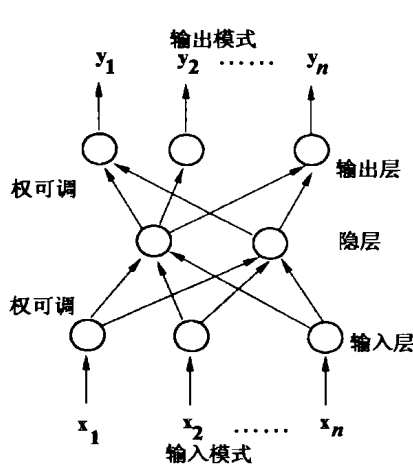


图1 三层BP网络结构

该网络包括输入层,隐含层和输出层,如图1所示。

BP网络的改进措施有:

(1) 网络的拓扑结构对于最终的网路功能至关重要。为保证网络与训练组匹配的精确度,又不至有过多的冗余结点,

降低泛化能力,采用自动增加隐结点的改进BP算法。

(2) 为提高网络训练时的收敛速度,采用自适应变步长的BP算法。

BP网络的标准学习算法是一种简单的最快下降法,即

$$W(n) = W(n-1) - \Delta W(n) \quad (1)$$

$$\Delta W(n) = \eta \frac{\partial E}{\partial W(n-1)} + \alpha \Delta W(n-1) \quad (2)$$

式中 η 为学习步长, E 为定义在权空间 $\{W(n)\}$ 上的误差超曲面, $\alpha \Delta W(n-1)$ 为冲量项, α 为冲量系数。

此方法是一种一阶寻优算法(一阶搜索方向),如何选择 η 是关键所在。为此,这里引入自适应变步长,加快了学习收敛速度,其基本思想为:如果连续两次迭代,梯度方向 $\frac{\partial E}{\partial W(n)}$ 的符号相反,说明下降过速,应减小步长;相反,如果符号相同,则表明下降慢了一些,步长可以加大。这种自适应变步长有很多变化方式,如减小时步长减半、再减半,增加时步长加倍、再加倍。为了使步长的每次改变幅度不致过大,采用如下方式:

$$\Delta \eta(n) = \epsilon \cdot \lambda \eta(n-1) \quad (3a)$$

其中,计算经验表明: ϵ 不宜过大,当 $0.01 \leq \epsilon \leq 0.1$ 时较合适,且 λ 定义:

$$\lambda = \text{Sgn}(\frac{\partial E}{\partial W(n)} \cdot \frac{\partial E}{\partial W(n-1)}) \quad (3b)$$

$\lambda = 1$, 增大步长。这样,自适应变步长快速BP算法为:

$$W(n+1) = W(n) - \eta(n)Z(n) \quad (4)$$

$$Z(n) = \frac{\partial E}{\partial W(n)} + \alpha \Delta W(n-1) \quad (5)$$

其中: $\eta(n)$ 按式(3)变化,动量参数 $\alpha: 0 \leq \alpha \leq 1$ 。

(3) 采用改进的模拟退火法,获取全局最优解。

在模拟退火法中^[4],由于允许以 $\exp(-\Delta C/T)$ 的概率接受变差的状态作解,因此该算法在陷入局部最小解时可以有跳出的机会,但也正由于此,使当前解可能比以往经历过的中间状态的解要差。这样,尽管在理论上,若 T_0 充分高, T 下降足够慢,每个 T 下的Metropolis 抽样时间无限长,且 $T \rightarrow 0$,最后的当前解将以概率1为最优解,但实际的退火过程与理想情况相差较远时,最后当前解比中间所经历的最好解可能差很多。基于以上分析,改进模拟退火法在搜索过程中始终保留着经历过的中间状态的最优解,这样,原模拟退火可绕过局部最优解的突出优点仍然被保留,且最后的最优解必定是搜索过程中所经历的所有状态中的最优解。

经以上改进,构成实用流型判别神经网络即自适应梯度下降法与改进模拟退火法的混合算法。

4 神经网络在流型判别中的应用

4.1 影响流型的因素

由于两相流及多相流的流动机理很复杂,影响流型的因素很多。影响流型的参数主要有:几何参数、流动参数和物性参数等。这每一个参数还包含很多参数,如几何参数,包含管道直径、管道长度、管道倾角、管道布置方式、管道粗糙度等;流动参数,包含流体流量(质量流量,体积流量等)、流速(实际流速,折算流速,混合流速等)、含气率(截面含气率,质量含气率,容积含气率)、流动阻力等;物性参数,包含流体密度、粘度、表面张力、压力、温度等。

因为影响流型的因素太多,且属于非线性系统,使得以往流型判别方法都有很大的局限性。但神经网络的模式识别却非常适应非线性系统的判别。采用改进BP网络,对众多的输入、输出样本进行学习,则可以建立流型判别的预测模型。

4.2 网络输入参数的确定

上述众多的影响因素均可作为输入参数的特征,这正是网络模型识别的优点。但如何确定哪些参数最重要、哪些参数次重要、哪些参数是模糊量,以及如何处理,都直接关系到模型识别的精确性。

判别流型的重要输入参数是流动参数。流速尤为重要,人们常使用折算流速。气、液折算速度不同,呈现不同流型。故速度是重要的输入参数。其它流动参数都与流速有关。其次输入参数是几何参数和物性参数,其中管道倾角是重要输入参数,不同的倾角,流型的种类发生很大变化,如在水平管,当流速低时会出现分层流,而且随管径增大分层流更容易发生。所以管径也应作为输入参数。介质的密度差的大小对流型转换有很大影响,压力的大小也影响流型,随介质压力的提高,弹状流将逐渐消失,当压力达到临界压力就不再有相态之分。但压力和密度差是相互关联的,随压力升高,密度差将减小,故选其中一个参数作为输入参数即可。对于确定的介质,介质的粘度、表面张力可以不作为输入参数,否则也应作为输入参数。

4.3 网络输出参数的确定

流型识别的网络输出参数是非线性的,如泡状流、分层流、弹状流、环状流等特征量。又典型的 BP 网络的传递函数(或称激励函数)通常为 Sigmoid 型,它没有无限大的正权值或负权值,神经元不可能输出 1 或 0⁷。因此,根据流型的特点,最好选用输出值为 0.9 和 0.1。这样也有利于流型过渡区的判别。

4.4 应用实例

以油—气两相流流型判别为例。

目前油—气相流的研究仍处于实验研究阶段,积累了大量的试验数据,但没有好的流型判别法,仍采用流型图。鉴于此,本文选用油—气两相流流型判别为例,证实采用神经网络判别流型,不仅有现实意义,而且意义深远,可以推广到油气水多相流流型判别中。

4.4.1 输入参数确定

为了能使用现有的大量公认的实验数据(如 kokals 试验数据^[5]),故选用与实验数据一致的参数作为输入参数,即选取影响流型的主要因素折算气速和折算液速。

4.4.2 输出参数确定

kokal 等人所研究的是水平管内油气两相流流型,其主要流型为泡状流、弹状流(或称塞状流)、分层流和环状流四种。故选取输出量为二维特征参数

{(0.1, 0.1); (0.1, 0.9); (0.9, 0.1); (0.9, 0.9)} 分别代表泡状流、弹状流(或称塞状流)、分层流和环状流,如图 2。

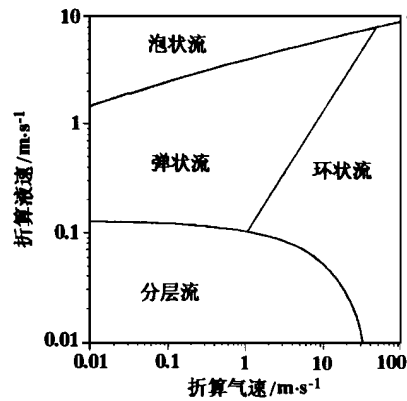


图 2 Kokal 流型图

4.4.3 网络训练与学习

选取训练样本集。在选取训练样本时,尽量覆盖各种流型情况,每一种流型至少选取 50 个样本,四种流型组成训练样本至少 200 个,然后进行学习。

4.4.4 网络测试

选取测试样本:

- (1) 选取训练样本集中的样本;
- (2) 任意给定某一流型下的输入参数折算液速,折算气速。

4.4.5 测试结果

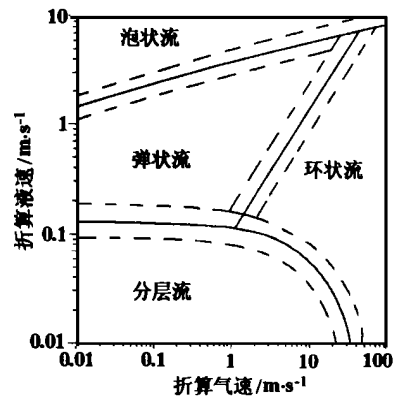


图 3 网络训练结果

(1) 对训练样本集中的样本测试回原率为 99%。

(2) 对于任意给定的输入参数即折算气速,折算液速,其结果如图 3,在阴影区以外准确性达到 99%。阴影区内准确率,输出值常常处于特征值中间。

这主要是因为从一种流型过渡到另一种流型时存在转变区域,并不象 kokal 的流型图中所画的一线之分。在流型的实验研究中也确实存在流型转变的过渡区。如输出参数为(0.1, 0.1)是泡状流,(0.1, 0.9)是弹状流;(0.1, 0.5)则可认为是泡状流和弹状流的转换过渡区。

所以,神经网络的两相流流型判别法,不仅可判
(转 90 页)

$$\Delta_{03}(K) = \{0, 0.179, 0.097, 1.662, 2.900\}$$

$$\Delta_{04}(K) = \{0, 0.501, 0.429, 2.634, 3.271\}$$

3.4 找出上述序列中的最大值与最小值

得 $\Delta_{\max} = 4.061$ $\Delta_{\min} = 0$

3.5 确定分辨系数 P

分辨系数是人为给定的, P 越小分辨率越大, 通常取 $P = 0.5$ 。

3.6 计算关联系数 $\xi_{0i}(K)$

由算式 $\xi_{0i}(K) = (\Delta_{\min} + P\Delta_{\max}) / (\Delta_{0i}(K) + P\Delta_{\max})$, 得

$$\xi_{01}(K) = \{1, 0.775, 0.680, 0.421, 0.333\}$$

$$\xi_{02}(K) = \{1, 0.937, 0.972, 0.506, 0.428\}$$

$$\xi_{03}(K) = \{1, 0.919, 0.954, 0.550, 0.412\}$$

$$\xi_{04}(K) = \{1, 0.802, 0.826, 0.435, 0.383\}$$

3.7 求关联度

由算式 $r_{0i} = \sum \xi_{0i}(K) / n$, 得 $r_{01} = 0.638$, $r_{02} = 0.769$, $r_{03} = 0.767$, $r_{04} = 0.689$ 。关联度越接近 1, 说明关联程度越大。

3.8 求关联序

关联序是按关联度大小顺序排列, 据此可以直接反映各个比较序列与参考序列的优劣。关联度越大, 则此比较序列对参考系列的影响也越大。表 2 列出了不同的能源消费与国民经济发展的灰色关联序。

表 2 不同的能源消费与国民经济发展的灰色关联序

	石油	电力	煤气	煤炭
关联度	0.769	0.767	0.689	0.638

(上接 65 页)

别流体所处的流型状态, 而且对流型的转变区域也能判断。

5 结论

本文提出流型判别的新方法, 并探讨了改进 BP 神经网络在流型判别中的应用方法, 该网络具有很强的自学习性、自适应性和容错性; 且收敛快, 准确性高。经实例验证是一种实用的有效的两相流流型判别方法, 而且可以推广到多相流流型判别。

参考文献:

4 结论

(1) 从以上的灰色关联序可以看出, 四种不同结构的能源因素, 与国民经济发展关系最大的是石油, 其次为电力, 再次为煤气, 最后为煤炭。这从一个侧面为当前的“以油代煤、以电代煤、以气代煤”的能源结构调整政策提供了理论依据, 具有一定的现实指导意义。

(2) 从能源消费的量上来说, 煤炭消费仍占主导地位。为了逐步调整和优化能源结构, 需要我们注重实际, 按照本地区经济发展和社会发展的客观规律, 对经济、能源、环境进行综合规划, 以实现城市的可持续发展战略。

(3) 从历史的经验来看, 1950 ~ 1965 年石油取代煤炭的能源消费结构转型期, 世界经济年递增率为 3.1%, 1966 ~ 1980 年石油占据一次能源主导地位期间, 世界经济年递增率为 4.5%; 电力作为终端能源的地位不仅现在逐步加强, 而且将来也是不可动摇的; 而燃气作为与石油并驾齐驱的重要能源, 也必将是现代经济高速发展的加速器, 本文的计算结果又一次验证了这一点。

参考文献:

[1] 邓聚龙. 灰色控制理论[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1985.
 [2] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987.

(何静芳 编辑)

[1] 林宗虎. 气液两相流和沸腾传热[M]. 西安: 西安交通大学出版社 1987.
 [2] DUKLERA E, TAITEL Y. A model for prediction of flow regime transition in horizontal and near horizontal gas liquid flow[J]. AICHE J., 1976, 22(1):47-55.
 [3] BARNEA D. A unified model for predicting flow pattern transitions for the whole range of pipe inclinations[J]. Int. J. Multiphase Flow, 1987, 13: 1-12.
 [4] 焦李成. 神经网络系统理论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社 1990.
 [5] KOKAL S L, STANISLAV J F. An experimental study of two-phase flow in slightly inclined pipes - I. Flow patterns[J]. Chem. Eng. Sci., 1989, 44(3):665-679.
 [6] 殷勤业, 杨宗凯. 模式识别与神经网络[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.

(何静芳 编辑)

Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 59 ~ 62

In view of the presence of destabilizing factors in boiler steam pressure caused by the power-frequency control of current large-sized mono-block thermal power plant units the authors have performed an analysis of the digital electric-hydraulic (DEH) control modes. It is noted that there exists a substantial difference in the influence on the dynamic characteristics of a boiler object when various DEH control modes are put into use. In case the DEH control assumes the form of power-frequency one the boiler steam pressure as a controlled object can be viewed as a self balancing-absent process. When the DEH control functions as a pure speed regulation, the former represents a self-balancing process. By way of simulations the effect of fuel and load perturbations on the dynamic characteristics of a mono-block thermal power plant unit has been determined when different DEH control modes are used. At the end of the paper presented are the operating modes of the mono-block unit under unstable working conditions or in case of a high frequency of outside perturbations. In sum, the paper has provided some hints of highly practical value for ensuring the safe operation of large-sized mono-block thermal power plants. **Key words:** steam turbine unit, digital electric-hydraulic control system, dynamic characteristics of boiler as a controlled object

改进 BP 神经网络在流型判别中的应用 = **The Application of an Improved BP Neural Network in the Discrimination of Various Flow Patterns** [刊, 汉] / Wang Yan-peng, Lin Zong-hu (Energy Source and Power Engineering Institute under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 63 ~ 65, 90

A new method for the discrimination of flow patterns is proposed in this paper, which is based on the use of an artificial neural network. With the help of a self-adaptive gradient reduction method and an improved simulation annealing approach, etc the convergence rate of a BP network can be accelerated. There emerged, as a result, an enhancement in the network's ability to avoid a local minimum magnitude, which contributes to an increased capability of the network to simulate a nonlinear system. In addition, an analysis was made of the network input and output parameters, which can be used for pattern discrimination. To demonstrate the feasibility of the recommended method, the authors have employed the experimental data of scholars-foreunners to check and verify their work procedures. It has been proved that the above method can be assessed as a very effective one for the discrimination of two-phase and multi-phase flow patterns. **Key words:** neural network, two-phase flow, multi-phase flow, flow pattern discrimination

板式换热器可视化计算机辅助设计系统的研制 = **The Development of a Visualized Computer-aided Design System for Plate Heat Exchangers** [刊, 汉] / Dong Chao-jun, (Wuyi University, Jiangmen, Guangdong Province, China, Post Code: 529020) // Journal of Engineering for thermal Energy & Power. — 2001, 16(1). — 66 ~ 69

Plate heat exchangers represent a kind of highly compact and efficient heat exchange device. As such heat exchangers feature an extremely complicated heat exchange and flow characteristics, there still lacks, to date, a unified formula for calculating their heat transfer and resistance. At present they are designed and calculated mainly by relying on manual work. However, a manual design and calculation process often suffers from both a high complexity and an extreme inaccuracy. With the comprehensive utilization of such a variety of software as Visual Basic, AutoCad and Turbo C, etc the author has on the platform of Windows 95 developed a visualized computer-aided design system. Through the use of that system a designer only needs to input some relevant parameters and the system will automatically complete the whole process starting from the design and calculation and ending with the completion of all design drawings. The system has a user-friendly interface and can be conveniently used in practical design work. **Key words:** plate heat exchanger, computer-aided design system, Visual Basic, AutoCad

非对称转子—轴承系统的稳定性分析 = **An Analysis of the Stability of an Asymmetrical Rotor-bearing System** [刊, 汉] / Liu Zhang-sheng, Huang Sen-lin, Su Jie-xian, *et al* (College of Energy Source under the Harbin Institute of