



基于BP神经网络的饱水木质文物脱水后的 预后评价

陈子繁

(湖北省博物馆, 湖北武汉, 430077; 北京科技大学, 北京, 100083)

摘要 漆木器脱水是一个十分复杂的过程, 所受影响因素十分多, 是非线性的, 而人工神经网络尤其是BP神经网络对于处理非线性问题有着良好的基础和效果, 所以BP神经网络可以有效地处理漆木器脱水问题, 使饱水漆木文物的保护有据可依。

关键词 漆木器 脱水 BP神经网络

引言

目前国家文物局在文物保护专项中重点抓标准化, 各种文物保护修复都按照标准严格操作, 但是对于饱水木质文物脱水后的预后评价还没有可以参照的标准。目前所能见到的预后质量评估体系中往往含有许多非定量的因素, 体系的输入和输出之间呈复杂的非线性关系, 难以建立一个合理的、科学的数学模型。从目前各单位预后质量评估方法上看, 很多测评采用了绝对评估法、相对评估法、综合评分法等简单方法, 这些方法或者过于主观, 或者通过简单的几项检测指标来评价预后质量效果, 忽视了各评价指标和材料效果之间的非线性关系, 其结果难以真实反映预后质量状况, 也难以被人们接受。单项因子评价法、模糊数学评价法、运筹学方法、多元统计分析方法、层次分析法等现代数量统计方法虽然也在材料质量评价时被使用过, 在不同程度上也取得了一定效果, 但 these 方法仍然存在很多不完善的地方, 如在确定各项二级指标的权重方面有一定困难, 通常凭借专家经验的评估, 导致评估主观随意性大, 评价结果与实际值存在一定的误差; 用传统的方法评价某些指标的结果很难做出精确的评价并且计算复杂, 求解烦琐。由于漆木器脱水的过程所受影响因素十分多, 是一个非线性的复杂过程, 而人工神经网络尤其是BP神经网络对于处理非线性问题有着良好的基础和效果, 所以BP神经网络可以有效地处理漆木器脱水问题, 使饱水漆木文物的保护有据可依。

1 神经网络基本原理

神经网络 (artificial neural network, ANN) 是近年来兴起的一种新的理论方法, 具有分布并行处理、非线性映射、自适应学习和容错等特性, 并有独特的信息处理和计算能力, 较其他方法具有不需要预先假设只需要学习训练样本, 能很好地适应有噪声数据等优势。其优点具体体现在: 可以充分逼近任意复杂的非线性关系; 所有定量或定性的信息都等势分布存储于网络内的神经元中, 故有很强的鲁棒性和容错性; 采用并行分布处理方法, 使得快速进行大量运算成为可能; 可学习和自适应不知道或不确定的系统; 能同时处理定量、定性知识。ANN的功能主要体现在三个方面: 自学习能力、联想存储能力和具有高速寻找优化解的能力。因此, ANN在图像处理、模式识别、语音综合及智能机器人控制等领域得到了广泛的应用。

BP神经网络是目前应用最为广泛和成功的神经网络之一。它是在1986年由Rumelhart和McClelland提出的, 是一种多层网络的“逆推”学习算法。其基本思想是: 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。这种信号正向传播与误差反向传播的各层权值调整过程是周而复始地进行、权值不断调整的过程, 也就是网络的学习训练过程。此过程一直进行到网络输出误差减少到可以接受的程度或进行到预先设定的学习次数为止。对于给定的一组训练模式, 不断用一个个模式训练网络, 重复正向传播和误差反向传播过程, 当各个训练模式都满足要求时, 就认为BP神经网络已经学习成功。

2 脱水预测实验

2.1 BP神经网络系统的预测方法

BP神经网络是具有S型隐含层的神经网络加上一个线性输出, 那么网络可以逼近任何有理函数, 为了进一步降低误差提高精度可增加层数, 但这样会使得网络复杂化而增加训练时间, 所以可采用增加隐含层神经元数方法。我们选取的BP神经网络为三层结构, $3:n:1$ 的三层形式。

但是这样选取隐含层的数量是无法确定的, 一般来说隐含层不得少于2个, 在本文的学习中分别选取隐含层的个数为2、3、4、5、6、7、8、9、10进行反复测量, 由于事先设定好初始的学习速率、训练步长、训练终止次数和训练精度。所以在已知设定的基础上隐含层哪个个数的运算时间最短、迭代次数最短就选用哪个数值作为隐含层。

2.2 实验仪器

本次实验采用的仪器主要有水浴锅、温度计若干、液体密度计、恒温干燥箱。

检测仪器主要有: 精度为0.01g的电子天平一台; 精度为5g的电子秤一台; 红外线测温仪一台; 10探头多点温度计一台; 高周波数字水分仪一台; 三维扫描仪一台。

2.3 实验材料

此次实验材料为湖北出产的沙木，为干燥实验板，其规格为长100mm，宽50mm，厚30mm，实验材料经过紫外照射及氢氧化钠溶液浸泡等程序进行老化处理使木板达到100%饱水。

2.4 实验数据收集

本研究的木材干脱水实验过程约120h，每个阶段为24h，前24h是PEG的渗透呈线性关系不计入数据的采集中，脱水实验在实验开始前在设备上做好相应的记录输入工作，待24h，每隔1h一次对实验材料进行质量和含水率的测量，记录所测的时间。实验共收集120组木材质量、木材体积、溶液浓度、平衡溶液浓度、干燥木材含水率和干燥木材收缩率测定值，在此我们分别取它们的平均值。我们只记录96h的实验数据。（实验数据略）

2.5 实验数据处理

饱水木材脱水主要分为填充溶液的浸入和木材干燥两个部分。脱水过程中主要监控参数为木材的质量以及所测定的溶液浓度。由于脱水木材的脱水时间和木材的收缩率序列存在比较强烈的非线性关系，而BP神经网络具有较好的拟合非线性数据功能，所以运用BP神经网络方法预测掌握此时间段内的变化规律，实行脱水过程中的有效控制。

木材的收缩率与木材的质量等参数变化有着密切的关系。根据工作经验，这种腐蚀程度的木材脱水在实验室完成一次完整的时间大约为4天（96h），所以我们把每1h作为一个时间序列，把每24h作为一个计算周期 T ， $T=1$ 即前24h，把前2天木材质量、溶液的浓度，以及稳定状态下含水率这5组数据当作训练样本，48h测得的240个即时数据作为建立模型和修正模型的基本数据，用来预测 $T=3$ 到 $T=4$ 之间的木材收缩率变化。

通过实践与分析，本文即选取输入变量指标为： x_1 为 $T=1$ 到 $T=2$ 溶液浓度1， x_2 为 $T=1$ 到 $T=2$ 木材质量1， x_3 为 $T=3$ 到 $T=4$ 溶液浓度2， x_4 为 $T=3$ 到 $T=4$ 的木材质量2， x_5 为 $T=1$ 到 $T=2$ 的木材收缩率；输出向量指标只考虑 $T=3$ 到 $T=4$ 的木材收缩率。

按照以上的方法运用MATLAB程序进行试验，设定初始的学习速率为0.1，训练步长为50，训练终止次数为 10^5 次，训练精度0.0001。在已知设定的基础上，隐含层哪个个数的运算时间最短、迭代次数最短就选用哪个数值作为隐含层。但是所测定的数据不能作为实验数据，现在我们运用归一化信号方法进行归一化处理。

利用MATLAB软件对指标数据进行归一化处理，使归一化的输入向量和目标向量的取值范围都在 $[-1, 1]$ 区间。

通过Premmnx对数据处理的表达式为

$$PN = 2 \times (P - \min p) / (\max p - \min p) - 1$$

$$TN = 2 \times (T - \min t) / (\max t - \min t) - 1$$

这样我们的输入值和输出值都会落在 $[-1, 1]$ 。

由于此次实验未知隐含层的个数，所以我们分别选取9个不同隐含层（隐含层迭代次数见表1）代入分别进行归一化的处理，最终实验隐含层有10个节点最好，最终分别选取输入层5个节点、中

间层10个节点、输出层1个节点最好。

表1 迭代次数统计表

隐含层层数	迭代次数	隐含层层数	迭代次数
2	大于 100000	7	87643
3	90978	8	793658
4	67543	9	586580
5	78765	10	10857
6	99877		

2.6 脱水实验结果

运用三层BP神经网络和MATLAB程序,输入修正数据,经过反复实验10857次,训练终止即可以得到输出,其中 W_1 输入层至隐含层的最优权值矩阵, A_1 表示隐含层的最优阈值矩阵, W_2 表示隐含层至输出层的最优权值矩阵, A_2 表示输出层的最优阈值矩阵。

$$W_1 = \begin{bmatrix} 3.3276 & -1.4476 & 1.2351 & -1.6370 & -0.7240 \\ 6.5393 & -3.7537 & 3.7052 & -1.4259 & 1.0718 \\ -4.8088 & -3.7537 & 0.6555 & 0.0636 & 5.8167 \\ 2.8342 & -2.6638 & 1.2834 & 2.3001 & 3.3850 \\ -5.3529 & -1.3001 & 0.7099 & 1.7633 & 1.1306 \\ -3.6002 & -0.1686 & -0.4913 & 0.8465 & -0.5379 \\ 0.1932 & -0.7516 & 2.9309 & -0.7677 & 0.8045 \\ 6.9948 & 1.2953 & 0.7660 & 0.6034 & 0.6753 \\ 2.2065 & 0.3956 & 1.3843 & -5.3491 & -3.7343 \\ -3.5455 & -3.3251 & 3.4532 & 0.5379 & -1.4440 \end{bmatrix} \quad A_1 = \begin{bmatrix} -1.2867 \\ 1.9832 \\ -0.7472 \\ 1.6537 \\ 2.5444 \\ -0.2743 \\ 0.5440 \\ 0.5909 \\ -1.3466 \\ 2.3820 \end{bmatrix}$$

$$W_2 = [0.8614 \quad -0.5287 \quad 0.6531 \quad -0.2929 \quad 0.3883 \quad -0.3921 \quad 0.8376 \quad -0.3965 \quad -0.2141 \quad -0.4484]$$

$$A_2 = [-0.376]$$

由于所得到的数据均在 $[-1, 1]$ 区间内,数据没有实际意义,所以现在进行反归一化处理,使数据重新回到所在实际区间。

由此得到的输出值和实际值,经过反复训练终止可以得到输出,即可以得到预测的收缩率结果(表2)。

表2 收缩率结果

脱水时间/h	预测收缩率/%	实际收缩率/%
49	17.2	16.9
51	16.4	15.8
53	14.5	15.2
55	15.1	15.3
57	13.2	14

2.7 实验结论

经预测木材收缩率的误差区间为 $[-0.6, 0.7]$ ，实验具有一定的实际意义。

3 讨 论

上述的实验只是针对单一品种相同木材，腐蚀度也是人为控制，但是在实际工作中饱水漆木器的脱水有着很多的影响因素，如对于木质文物可以选用的种材、年代、质量和制作工艺，预聚物、催化剂、表面活性剂、稀释剂和辅助剂为影响因素。

饱水漆木器的脱水定型性能在理论上属于结构动力学的研究范畴，但由于高腐蚀饱水木质文物材料的非线性和诸多影响因素的不确定性，以及结构本身的复杂性，运用传统的解析方法难以准确地对文物的预后性能进行评估。

填充材料是主剂与多种添加剂构成的多相体系，材料中各个组分之间存在着复杂的化学和物理作用，目前尚不能用理论计算的方法推导出配方用量与其力学性能之间复杂的非线性定量关系，在一定程度上仍以经验为主。对于填充材料配方而言，通常要求几项主要力学性能指标的综合平衡，但由于材料组成成分与不同力学性能指标之间存在着不同的相关性，很难达到材料各力学性能的理想平衡，并且这种方法受到实验因素和水平的限制，实验次数较多、数据处理量大且性能指标参数和因素之间存在复杂的非线性关系，难以准确描述，故实际应用中有一定的局限性。经验设计是出土饱水木器的一种常用方法。将神经网络技术引入饱水漆木器脱水分析中，结合传统的多元经验方法，为饱水漆木器方案设计、配方优化提供了新的分析方法和途径。