

(山东莱克工程设计有限公司, 山东 东营 257000)

【关键词】BP 神经网络; 水热裂解; 预测模型; 影响因素

训练完成后，弹出训练窗口，如图 2 所示。

从该训练窗口中可以看出训练的神经网络结构简图与设计的网络结构示意图完全一致。

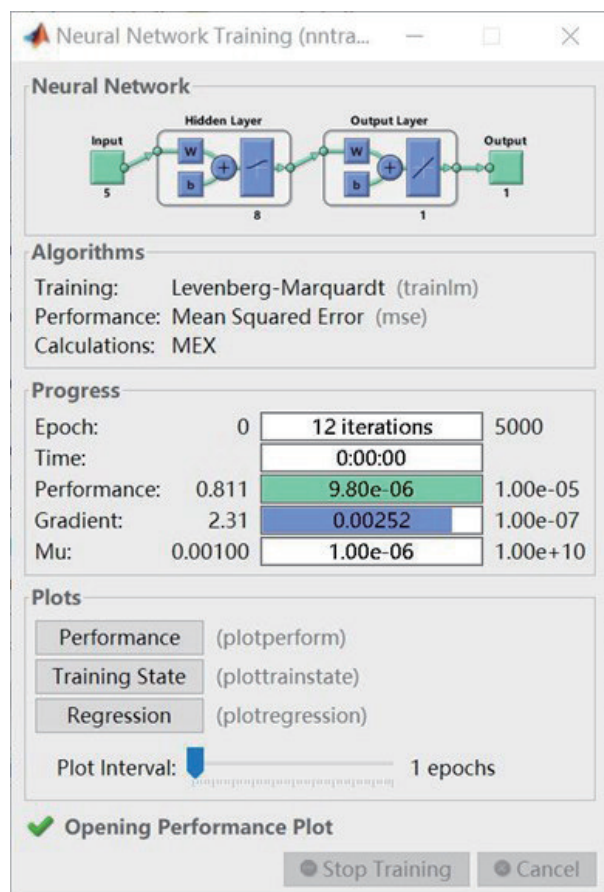


图 2 BP 神经网络训练窗口图

该网络通过 12 次重复学习达到 9.80×10^{-6} 的误差后完成训练，通过点击 performance 可以查看其误差随迭代次数变化曲线，如图 3 所示。

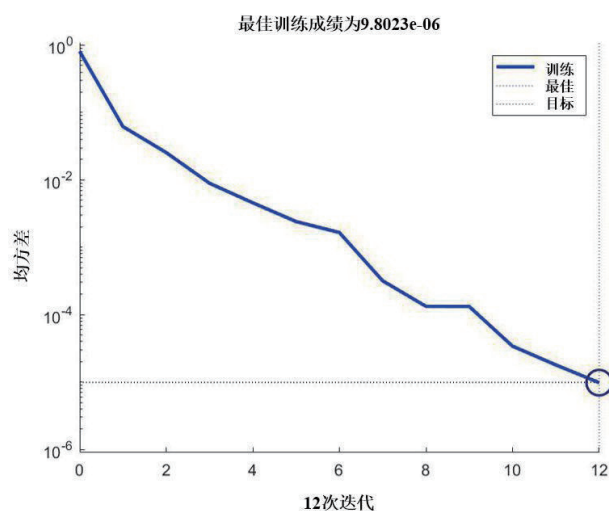


图 3 误差变化曲线

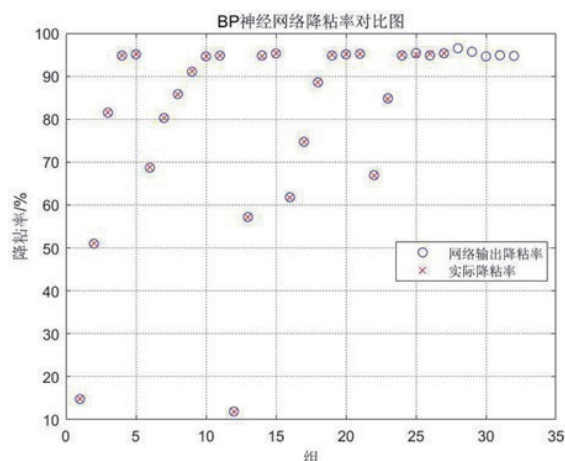


图 4 BP 神经网络降粘率对比图

降粘率预测结果对比图如上图 4 所示：实验集的降粘率预测结果分别为 96.74%，95.92%，94.63%，94.07%，94.28%。与之对应的真实值为 95%，94.7%，95%，95.1%，95.2%，其中最大误差为 1.83%，最小误差为 0.39%，平均误差 1.11%。根据降粘率结果，预测值和真实值的误差较小。

对该结果图进行进一步研究，可以看出该降粘率对比图可以大致分为 5 个区域。第一个区域是点 1-5 的数据，这一段曲线主要反映的是催化剂（油酸铁）用量的影响程度。在点 1-4 段将降粘率呈急速上升趋势，而且在 1-2 段是催化剂用量从 0 提升至 0.1wt%，降粘率从 14.8% 提升至 51%，说明催化剂对水热裂解反应起到关键的促进作用，是一个主要影响因素。而点 4-5 段稠油降粘率已经基本不变，说明催化剂用量对稠油降粘率的影响已经不大。由此我们推测最佳的催化剂用量在点 4 附近，即 0.2wt%。

第二个区域是点 6 到点 11，这一段曲线主要反映的是供氢剂（十氢萘）的用量的影响程度。在未加入供氢剂时稠油降粘率已经可以达到 68.7%，加入供氢剂后稠油降粘率也随着供氢剂的用量不断提升。而点 10-11 段稠油降粘率已基本不变，说明供氢剂的最佳用量应该取在 10 点左右，即采用 5wt%。而且我们可以知道供氢剂的作用机理是为水热裂解反应中间反应供氢，起到的是一个锦上添花的作用，因此供氢剂的用量是一个次要影响因素。

第三个区域是点 12 到点 15，这一段曲线反映了水油质量比对反应的影响。与催化剂用量相似，降粘率也随着加水量的增加而急剧增加。从点 12 到 13，加水量有 0 到 10wt%，降粘率上升了 45.3%，说明在不加水的情况下水热裂解反应基本无法进行，水油质

量比也是一个主要的影响因素。而且经过区域一和区域三的对比较发现,区域三的降粘率的增长速率是比区域一更快的,从点12到点14已经到达了最佳反应条件,即加水量为20wt%。

第四个区域是点16到点21,这一段曲线反映了温度对反应的影响。在点16到点19阶段,降粘率随温度的升高而升高。在点19到点20阶段,降粘率已经基本不变,说明最佳反应温度在200℃左右。

第五个区域是点22到点27,这一段曲线反映了时间对反应的影响。在点22到点24阶段,降粘率随温度的升高而升高。在点24到点27阶段,降粘率已经基本不变,说明最佳反应时间在20h左右。反应温度和反应时间这两个影响因素作用相似,降粘率和它们在一定范围内都成反比关系。而反应温度和反应时间达到一定程度后降粘率不再变化。

(二) 预测模型实验和影响因素分析

对春晖3井预测模型进行预测实验,利用控制变量法,观察预测结果和真实值的相似性,并且分析该影响因素对降粘率的影响。

1. 改变催化剂用量

假设一组催化剂用量(wt%)分别为0.05, 0.13, 0.18, 0.23, 0.27,同时,其他数据保持不变。用建成的BP神经网络对这组数据进行降粘率的预测,预测结果如图5所示。

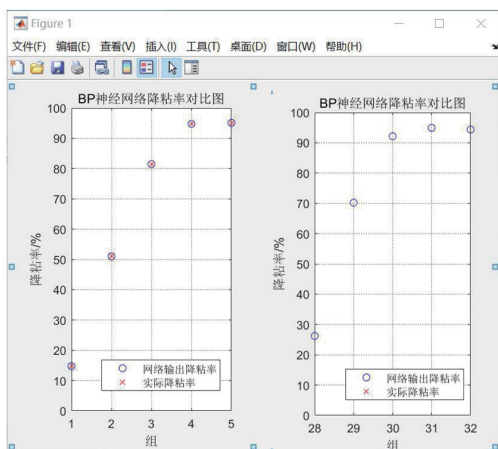


图5 改变催化剂用量

其中,催化剂用量对应的降粘率分别为27.22%, 67.05%, 92.93%, 95.29%, 95.19%。

经过预测模型多次预测可以看出在催化剂用量达到0.18wt%时降粘率已经可以达到90%以上,并且继续增加催化剂用量时降粘率涨幅逐渐降低,在达到0.2wt%以后,降粘率基本稳定在95%左右,与实验结果吻合度

较高。由此可以确定最佳催化剂用量为0.2wt%。

在催化剂用量这个影响因素上,构建的BP神经网络预测结果比较成功。

同时,观测模型可以发现,在只添加供氢剂时水热裂解反应基本无法进行,只添加催化剂可以达到68.7%的降粘率,说明催化剂的加入与否决定着水热裂解反应能否顺利进行。

2. 改变供氢剂用量

假设一组供氢剂用量(wt%)分别为1, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5,同时,其他数据保持不变。用建成的BP神经网络对这组数据进行降粘率的预测,预测结果如图6所示。

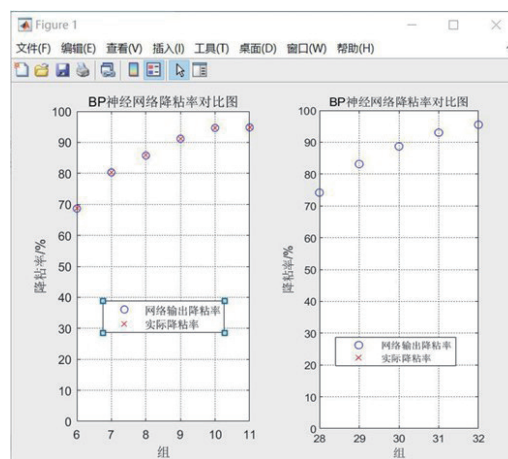


图6 改变供氢剂用量

其中,催化剂用量对应的降粘率分别为75.29%, 82.94%, 88.55%, 93.36%, 94.78%,对于这组降粘率,在数据大小上没有问题,拟合出的曲线(右)和图4第二个区域拟合出的曲线(左)趋势相似。

点32个别时候会出现较大误差,最大误差4%左右,平均误差较小。

经过预测模型多次预测可以看出在供氢剂用量达到3.9wt%时降粘率已经可以达到90%以上,并且继续增加催化剂用量时降粘率涨幅逐渐降低,在达到5.5wt%以后,降粘率基本稳定在95%以上,与实验结果吻合度较高。考虑到经济因素,在供氢剂用量达到5wt%时基本也可以保证94.5%以上的降粘率,所以选择5wt%为最佳供氢剂用量。

3. 改变加水量

假设一组加水量(wt%)分别为5, 11, 15, 25, 32,同时,其他数据保持不变。用建成的BP神经网络对这组数据进行降粘率的预测,预测结果如图7所示。

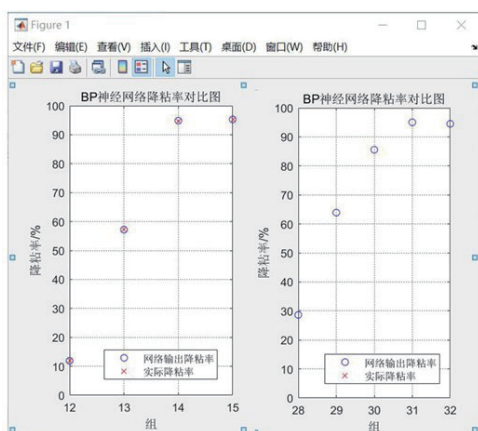


图7 改变加水量

经过预测模型多次预测可以看出在加水量量达到18wt%时降粘率基本可以达到90%以上,并且继续增加催化剂用量时降粘率涨幅逐渐降低,在达到20wt%以后,降粘率基本稳定在94.5%以上,与实验结果吻合度较高。在此过程中,通过对加水量拐点附近降粘率的预测,发现在加水量在16wt%左右时,预测结果有一定的波动。

在加水量这个影响因素上,构建的BP神经网络预测结果在加水量在16wt%和25wt%附近结果不太理想,可能会在实验过程中出现误差。

在未加入水时,水热裂解反应进行的程度比未加入催化剂更低,降粘率只有11.9%。说明加水量也是影响水热裂解反应的一个重要影响因素。随着加水量的增加,降粘率不断升高,根据上述预测结论和实验数据,选择20wt%为最佳加水量。

4. 改变反应温度

假设一组反应温度(°C)分别为150,170,190,210,230,同时,其他数据保持不变。用建成的BP神经网络对这组数据进行降粘率的预测,预测结果如图8所示。

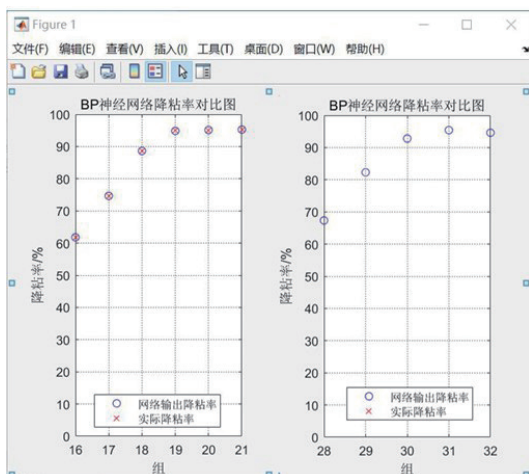


图8 改变反应温度

经过预测模型多次预测可以看出在反应温度达到183℃时降粘率基本可以达到90%以上,并且继续增加催化剂用量时降粘率涨幅逐渐降低,在达到200℃以后,降粘率基本稳定在95%左右,与实验结果吻合度较高。在此对反应温度以较小步长进行降粘效果预测时,可以发现预测数据非常稳定,预测误差在0.5%以下。结合预测模型和实验数据,最佳反应温度取200℃即可达到较好的降粘效果。

二、结论

本文通过建立BP神经网络对油酸铁催化春晖3井稠油水热裂解反应影响因素进行分析,所得结论与不足如下:

1. BP神经网络的预测结果具有一定的误差。误差的大小与数据的性质有关,数据具有较为明显的变化趋势时预测精度高,数据趋势变化不明显时预测结果误差较大。

2. 催化剂(油酸铁)用量、加水量是主要的影响因素,催化剂用量超过0.2wt%,加水量超过20wt%之前,降粘率随二者用量的增加有非常明显的变化,超过该值后降粘率无大变化。

3. 供氢剂(十氢萘)用量是次要的影响因素。预测最佳供氢剂用量为5.5wt%,此时降粘率稳定在95%以上。实际考虑到经济因素选择用量为5wt%。

4. 反应温度低于200℃,反应时间少于20.2h时,降粘率随二者的增加而平稳增加,超过该值后降粘率基本不变。预测最佳反应温度为20.2℃,反应时间200℃,此时降粘率稳定在95%以上,与实际基本一致。

参考文献:

- [1] 陈良,张庆,蒋宇,etal.稠油不加热集输技术现状与应用探讨[J].天然气与石油,2010,28(01):6-9+1.
- [2] 王桂勋.胜坨油田稠油催化降粘技术研究[J].精细石油化工进展,2010,11(03):1-3+24.
- [3] 陈艳玲,王元庆,逯江毅.稠油水热裂解催化降粘研究的进展[J].地质科技情报,2008,27(6):53-57,62.
- [4] 李昀芮.油酸铁的制备及其在稠油催化降粘中的应用[D].河南大学,2018.