

冷轧带钢力学性能在线检测系统算法模型研究

刘孝成,王平,范林飞

(南京航空航天大学 自动化学院,江苏 南京 211106)

摘要:针对力学性能在线检测系统算法模型精度不足、模型单一等问题,对冷轧带钢力学性能在线检测系统原算法进行了改进,将干扰真值加入算法模型,将跟随干扰波动较大的特征值剔除;根据出钢记号对所有的冷轧带钢进行分类,不同类号运用不同的算法模型,其精度分析表明,改进后的算法能提高算法的精度。

关键词:冷轧带钢;力学性能;在线检测;算法模型

中图分类号:TP391.9 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)02-0131-03

Research on Algorithm Model of Mechanical Performance Online Detection System

LIU Xiaocheng, WANG Ping, FAN Linfei

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211016, China)

Abstract: The detection of mechanical properties is of great significance for the production of cold-rolled strip. Aimed at the problems of insufficient accuracy and single model of the current mechanical performance on-line detection system algorithm, improvement work on the original algorithm of the cold-rolled strip mechanical performance on-line detection system was performed. The true value of interference was added to the algorithm model with the elimination of the characteristic value with large fluctuations in interference. All cold-rolled strips were classified in line with tapping marks. According to different algorithm models of different types, accuracy analysis demonstrates that the improved algorithm can improve the accuracy of the algorithm.

Keywords: cold-rolled strip steel; mechanical property; online test; algorithm model

0 引言

用户对冷轧带钢的力学性能各项指标要求严格,因此,提供具有准确的、合格的力学性能指标带钢是钢厂提高其市场竞争力的前提条件之一^[1]。力学性能在线系统采用逐步回归的算法模型,该模型仅根据钢级将一些冷轧带钢进行了分类^[2]。为解决绝大多数冷轧带钢采用单一模型问题,对冷轧带钢力学性能在线检测系统算法模型进行优化是十分必要的。

1 算法原理

逐步回归法是建立最优回归方程的一种统计方法,针对多个因变量的模型时,逐步回归就很简单、方便,其特点是:首先,对引入的因子进行检验,显著者引入,不显著者剔除;其次,每引入一个新因子,要对前面引入的因子进行检验,显著者保留,不显著者剔除;这样反复做下去,直至进入的因子都显著,未进入方程的因子都不显著为止,就得到了最优回归方程^[3]。

力学性能检测原系统采用逐步回归的算法模型,其使用逐步回归中的基本思路为:3MA(材料性能无损检测系统)原检测系统从41个电磁参数中选取其中的10个特征参数作为子集,然后每次从剩下的31个特征参数中将影

响显著的特征参数中引入一个对Y影响最大的特征参数,再对原来子集中的变量进行检验,从变得不显著的变量中剔除一个影响最小的,直至不能引入和剔除为止^[4-5]。

2 算法模型预测结果分析

2.1 测试结果评价指标

为了对模型预测精度及所消耗的时间做进一步分析,可以使用模型对同一批冷轧带钢进行力学性能预测,根据预测结果来对比模型的性能。本文所用结果的评价指标包括:

1) 耗费的时间

耗费的时间为模型开始运行到模型计算完成所耗费的时间差,计算公式为

$$T = t_1 - t_2$$

其中: t_1 表示模型计算完成时的时间; t_2 表示模型开始计算时的时间。

2) 平均绝对值误差率

平均绝对值误差率是相对误差绝对值的平均值。计算公式为

$$E_A = \frac{\sum_{i=1}^N E_i}{N} \times 100\%$$

第一作者简介:刘孝成(1994—),男,湖北宜昌人,硕士研究生,研究方向为无损检测。

其中 E_i 的计算公式为

$$E_i = \left| \frac{y_i - y_{c,i}}{y_i} \right|$$

式中: y_i 表示力学性能真实值; $y_{c,i}$ 表示力学性能预测值。

3) 模型预测能力

模型预测能力主要表现在两个方面:一是模型能否说明所要预测期间事物的发展情况;二是预测误差,即只有预测结果有一个合适的置信区间,才能保证预测有意义。本文的置信区间有两个,一个是平均绝对值误差 $\leq 10\%$,另一个是平均绝对值误差 $\leq 5\%$ ^[5]。 Q_{10} 、 Q_5 的公式为:

$$Q_{10} = \frac{N_{10}}{N} \times 100\%$$

$$Q_5 = \frac{N_5}{N} \times 100\%$$

其中: N 表示样本的总数; N_5 表示平均绝对值误差在 5% 以内的测试样本个数; N_{10} 表示平均绝对值误差在 10% 以内的测试样本的个数。

4) 均方根误差 RMSE

均方根误差 (root mean square error, RMSE) RMSE 值对一组测量中个别的特大或特小误差反应十分敏感,也就是说,能使均方根误差最小的估计方法所得到的估计值一般不会产生某些个别的大误差值,其能更好地衡量测量精度。计算公式为

$$R_{MSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}}$$

其中: \hat{y}_i 表示估计值; y_i 表示实际测量值。

2.2 算法模型预测结果和分析

钢厂是通过截取每一卷冷轧带钢的头和尾,然后将得到的钢板进行破坏性试验得到力学性能值,并将这个值作为每卷钢的力学性能的真实值。本文选取的是某钢厂生产的 92 卷冷轧钢带,每一卷带钢数据头和尾各取 5 个点的电磁参数与对应的通过检测获取的力学性能值组成 460 组数据。其中 360 组数据作为训练样本,100 组数据作为测试样本,使用逐步回归算法进行训练并进行预测,主要预测 3 个常规的力学性能值,屈服强度 R_p 、抗拉强度 R_m 和延伸率 A ,得到的相应结果如表 1 所示。

表 1 逐步回归预测结果评价指标表

| 力学性能 | 评估指标 | | | | |
|-------|----------|-----------|--------|-------------|----------|
| | $E_A/\%$ | R_{MSE} | T/ms | $Q_{10}/\%$ | $Q_5/\%$ |
| R_p | 4.80 | 3.57 MP | 1.75 | 89.50 | 62.00 |
| R_m | 3.06 | 3.41 MP | 0.53 | 96.50 | 80.00 |
| A | 3.47 | 1.13% | 3.55 | 99.00 | 74.00 |

2.3 加入干扰真值后算法模型预测结果和分析

由于冷轧钢带力学性能在线检测系统安装在钢厂现场,作业现场会带来很多的干扰。系统针对冷轧钢带力学性能检测的准确性是有待研究的。根据作业现场的干扰

将三种常见的干扰:带钢张力、带钢速度、带钢提高加入模型训练中。训练选用上次的训练样本,但是在里面加入了提高、速度、张力等值的真值作为补偿,一并参与训练。针对屈服强度、抗拉强度、延伸率的预测结果如表 2 所示。

表 2 加入干扰真值后逐步回归预测结果评价指标表

| 力学性能 | 特征选择算法 | 评估指标 | | | | |
|-------|--------|----------|-----------|--------|-------------|----------|
| | | $E_A/\%$ | R_{MSE} | T/ms | $Q_{10}/\%$ | $Q_5/\%$ |
| R_p | 剔除前 | 4.80 | 3.57 MP | 1.75 | 89.50 | 62.00 |
| | 剔除后 | 4.80 | 3.30 MP | 1.02 | 93.50 | 66.00 |
| R_m | 剔除前 | 3.06 | 3.41 MP | 0.53 | 96.50 | 80.00 |
| | 剔除后 | 2.41 | 2.98 MP | 1.81 | 99.50 | 86.00 |
| A | 剔除前 | 3.47 | 1.13% | 3.55 | 99.00 | 74.00 |
| | 剔除后 | 3.07 | 1.06% | 1.00 | 99.00 | 78.50 |

通过表 2 可以得出以下结论:

1) 对于 R_p :加入干扰真值后,逐步回归算法平均绝对值误差率和 R_{MSE} 基本没变化,但是算法所使用的时间有所减少,而且对于合格率,加入干扰真值后 Q_{10} 提升至 93.5%, Q_5 提升至 66%。

2) 对于 R_m :加入干扰真值后,逐步回归算法平均绝对值误差率和 R_{MSE} 有所降低,虽然算法所使用的时间有所增加,但是对于合格率,加入干扰真值后 Q_{10} 提升至 99.5%, Q_5 提升至 86%。

3) 对于 A :加入干扰真值后,逐步回归算法平均绝对值误差率和 R_{MSE} 有所降低,而且算法所使用的时间也有所降低,并且对于合格率,加入干扰真值后 Q_{10} 保持 99%, Q_5 提升至 78.5%。

综上所述,加入干扰真值后逐步回归算法的预测精度比之前有所提高,特别是在误差 5% 以内的合格率有明显的提升效果,这证明加入干扰真值提高了预测的精度,说明加入干扰真值后的算法更加符合力学性能在线检测系统。

3 基于钢卷分类的算法预测

为了进一步提高算法的精度,按照出钢记号将钢卷分为 58 个类,57 个按照出钢记号分类,还有 1 个其他类用来存放新出现的钢种,该分类既涵盖了现有的钢种还方便了新钢种的模型训练。

上面训练选取的是某钢厂生产的 92 卷冷轧钢带,每一卷带钢数据的头和尾各取 5 个点的电磁参数与对应的通过检测获取的力学性能值组成 460 组数据。通过对出钢记号进行计算发现这 460 组数据包含了 3 个类。将这些数据都进行了干扰真值的加入,然后将这 3 个类:26015、13091、12140 分开进行建模训练,分别使用逐步回归算法进行训练并进行预测,主要预测 3 个常规的力学性能值,屈服强度 R_p 、抗拉强度 R_m 和延伸率 A ,得到的对于逐步回归算法基于冷轧钢带分组后对力学性能参数预测与没分组情况下对冷轧钢带力学性能参数的预测的对比,如表 3~表 5 所示。

表3 分类前后预测 R_p 准确度比较表

| 类号 | $E_A/\%$ | R_{MSE}/MP | $Q_{10}/\%$ | $Q_5/\%$ |
|-------|----------|--------------|-------------|----------|
| 26015 | 3.57 | 3.28 | 93.33 | 78.89 |
| 13091 | 2.91 | 2.21 | 100.00 | 84.31 |
| 12140 | 1.65 | 2.27 | 100.00 | 99.26 |
| 加权平均 | 2.49 | 2.49 | 98.43 | 88.44 |
| 分组前 | 4.80 | 3.57 | 89.50 | 62.00 |

表4 分类前后 R_m 准确度比较表

| 类号 | $E_A/\%$ | R_{MSE}/MP | $Q_{10}/\%$ | $Q_5/\%$ |
|-------|----------|--------------|-------------|----------|
| 26015 | 2.23 | 2.88 | 100.00 | 95.56 |
| 13091 | 0.75 | 1.50 | 100.00 | 100.00 |
| 12140 | 1.00 | 1.94 | 100.00 | 100.00 |
| 加权平均 | 1.21 | 2.02 | 100.00 | 98.95 |
| 分组前 | 3.06 | 3.41 | 96.50 | 80.00 |

表5 分类前后 A 准确度比较表 单位: %

| 类号 | $E_A/\%$ | R_{MSE}/MP | $Q_{10}/\%$ | $Q_5/\%$ |
|-------|----------|--------------|-------------|----------|
| 26015 | 2.08 | 0.85 | 100.00 | 92.22 |
| 13091 | 0.99 | 2.17 | 100.00 | 90.20 |
| 12140 | 2.13 | 0.87 | 100.00 | 88.15 |
| 加权平均 | 1.77 | 1.26 | 100.00 | 89.74 |
| 分组前 | 3.47 | 1.13 | 99.00 | 74.00 |

对比表3-表5可知:

1)对于 R_p :对比基于冷轧钢带分组后预测与没分组情况下逐步回归算法预测的结果,其平均绝对值误差率降低了 2.31%,均方根误差降低了 1.08 MP, Q_{10} 提升了 8.93%, Q_5 提升了 26.44%。

2)对于 R_m :对比基于冷轧钢带分组后预测与没分组

情况下逐步回归算法预测的结果,其平均绝对值误差率降低了 1.85%,均方根误差降低了 1.39 MP, Q_{10} 提升了 3.5%, Q_5 提升了 18.95%。

3)对于 A:对比基于冷轧钢带分组后预测与没分组情况下逐步回归算法预测的结果,其平均绝对值误差率降低了 1.7%,均方根误差增加了 0.13%, Q_{10} 提升了 1%, Q_5 提升了 15.74%。

综上所述,钢卷分类后逐步回归算法的预测精度比分类前有所提高,特别是在误差 5% 以内的合格率有明显的提升。这证明钢卷按照该方法进行分类提高了预测的精度,分类后的算法更加符合力学性能在线检测系统。

4 结语

本文提出了两种针对力学性能在线检测系统算法优化的方法。首先介绍了逐步回归算法的原理与常规力学性能在线检测系统中的算法建模的方法。两种算法优化方法,一是结合外部影响因素,在算法模型中加入了外部影响因素的真值来提高训练的精度,该优化方法对于现有的模型精度确实有显著的提高;二是根据出钢记号对检测的钢种进行分类,在算法训练中加入了第一种优化方法,并且在加权平均后精度相比第一种优化也有显著提高。这两种算法优化方法可以提高力学性能在线检测系统对于力学性能值预测的精度,能够更加准确地评估冷轧钢带质量的好坏。

参考文献:

- [1] 陈云鹏,李茫茫,唐成龙. 冷轧带钢力学性能在线检测技术进展[J]. 理化检验(物理分册),2017,53(12):859-865.
- [2] 徐卫国,邓冬梅. 在线力学性能检测系统在冷轧带钢生产中的应用[J]. 自动化仪表,2018,39(9):87-89.
- [3] 曹旭,张喆,胡先宁,等. 基于逐步回归法的住房需求模型[J]. 甘肃联合大学学报(自然科学版),2012,26(1):19-21.
- [4] 郭明. 基于随机波动的极端金融风险测度模型研究[D]. 大连:大连理工大学,2018.
- [5] 李加忠. QSAR 研究中提高模型预测能力的新方法探讨及其在药物化学中的应用[D]. 兰州:兰州大学,2009.

收稿日期:2020-01-07