

文章编号:1671-251X(2018)10-0038-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2018050087

矿用带式输送机张紧力预测方法

林广旭

(中国煤炭科工集团太原研究院有限公司, 山西 太原 030006)

摘要:针对现有带式输送机张紧力检测装置不能根据负载实现张紧力实时预测的问题,提出了一种基于BP神经网络的带式输送机张紧力预测方法。首先分析了带式输送机张紧力、运行阻力与负载之间的关系,探究了负载与带式输送机电动机电流之间的表征关系。然后建立BP神经网络对负载进行预测;根据负载与张紧力的函数关系,获取带式输送机运行过程中的负载变化趋势,由负载实时预测张紧力,根据预测的张紧力对带式输送机进行自适应调控。实验结果表明,该方法的预测精度为92.1%,能够满足带式输送机张紧力实时预测的需求。

关键词:矿用带式输送机;张紧力预测;负载;自适应调控;BP神经网络

中图分类号:TD634 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180920.0916.003.html>

Tension force prediction method for mine-used belt conveyor

LIN Guangxu

(CCTEG Taiyuan Research Institute, Taiyuan 030006, China)

Abstract: In view of problem that existing tension force detection device of belt conveyor could not realize real-time prediction of tension force according to load, a tension force prediction method based on BP neural network was proposed. Firstly, the relationships among the tension force, running resistance and load of the belt conveyor were analyzed, and the relationship between the load and motor current of the belt conveyor was explored. Then BP neural network was established to predict the load. According to the functional relationship between load and tension force, load variation trend in the running process of the belt conveyor was obtained, and the tension force was real-timely predicted by the load. The belt conveyor was adjusted adaptively according to the predicted tension force. The experimental results show that the prediction accuracy of the method is 92.1%, which can meet demand of real-time prediction of tension force of belt conveyor.

Key words: mine-used belt conveyor; tension force prediction; load; adaptive control; BP neural network

0 引言

带式输送机是煤矿生产重要的运输设备之一,张紧装置为带式输送机提供合适的张紧力以保证正常的煤炭生产运输^[1-2]。随着煤炭开采技术的不断

发展,带式输送机的运输量和运输距离也实现了大幅度提升,目前国内带式输送机最长单机运距高达14 km,运量达到1万t/h^[3]。同时,带式输送机在运行过程中负载量变化增大,张紧力及张紧行程的变化范围也随之增大,对张紧装置的性能也提出了更

收稿日期:2018-05-26;修回日期:2018-07-25;责任编辑:张强。

基金项目:山西省科技成果转化引导专项项目(201704D131011)。

作者简介:林广旭(1984—),男,辽宁葫芦岛人,研究员,主要研究方向为机电一体化设计,E-mail:dagelin2000@sina.com。

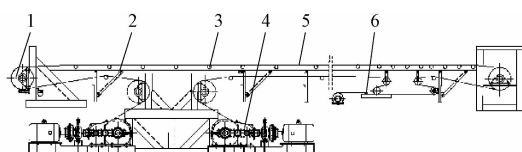
引用格式:林广旭.矿用带式输送机张紧力预测方法[J].工矿自动化,2018,44(10):38-42.

LIN Guangxu. Tension force prediction method for mine-used belt conveyor[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(10): 38-42.

高的要求,要求张紧装置能够跟随带式输送机的负载量和工作状态自适应调节张紧力。针对张紧力及其控制技术,国内外学者做了大量的研究,J. Rembisz等^[4]提出了一种与输送带运动同步的张紧装置,通过对输送带上的张力标签进行识别,确定标签间的距离,由此计算出输送带所需的张紧力。V. Molnár等^[5]基于统计理论分析了带式输送机中不对称张紧力对托辊和输送带造成的磨损影响。I. Ibishi等^[6]建立了带式输送机的力学模型,分析了输送带张紧力与负载量之间的关系。滕文超等^[7]建立了带式输送机的弹性力学模型,采用微元法分析输送带张紧力。李江峰等^[8]研究了带式输送机在不同工况下的张紧力计算方法,给出了张紧装置设计参数的确定方法。赵红平^[9]基于逐点计算方法分析了输送带的张紧力。以上方法虽然提高了带式输送机的张紧效果,但在其运行期间并未根据负载实现张紧力的实时预测,不能依据所获得的张紧力进行带式输送机的实时调控,从而不能实现带式输送机的安全高效运行。针对以上问题,本文提出了一种基于BP神经网络的矿用带式输送机张紧力预测方法,该方法可根据负载与张紧力的函数关系,由负载实时预测张紧力,根据预测到的张紧力对带式输送机进行调整。

1 带式输送机组成

本文以驱动式带式输送机作为研究对象。驱动式带式输送机通过滚筒封闭形成环形带并支撑在托辊上,输送带作为物料的牵引和承载件,滚筒转动并与输送带产生摩擦力来牵引物料,张紧装置为其工作提供必要的张紧力,从而完成物料从上料端到卸料端的运载^[10-12]。驱动式带式输送机由输送带、托辊、滚筒、张紧装置、驱动装置、机架及其他辅助装置组成,如图1所示。



1—滚筒; 2—机架; 3—托辊; 4—驱动装置;

5—输送带; 6—张紧装置

图1 驱动式带式输送机的结构组成

Fig. 1 Structure composition of driving belt conveyor

张紧装置是带式输送机的重要部件,为适应不同类型的输送机,张紧装置分为以下几类:①固定式绞车张紧装置,具有一定的储带功能,可以在输送

带发生塑性变形后给予一定的补偿。②重锤张紧装置,主要应用于固定式并且输送距离不长的带式输送机,需要的工作空间较大。③自动张紧绞车,能满足大多数带式输送机的使用要求。本文采用的张紧装置为自动张紧绞车。张紧装置主要为带式输送机驱动滚筒分离点提供适当的张紧力以防止输送带打滑,保证输送带表面各点具有必要的张紧力以满足悬垂要求。张紧装置还能够补偿输送带的弹性伸长和黏性伸长,为输送带重新接头提供必要的安装行程,满足带式输送机在启动、制动等非稳定工况下对张紧力的需求^[13]。

2 张紧力分析

带式输送机张紧力取决于运行阻力,而运行阻力由负载决定,故带式输送机张紧力的预测依赖于负载的变化趋势,负载是影响张紧力变化的关键因素^[14]。通过带式输送机的运行阻力来计算张紧力,其中运行阻力包括主要阻力 F_Z 、附加阻力 F_E 、倾斜阻力 F_Q 和其他阻力 F_O 。由于篇幅有限,本文仅给出主要阻力的求解过程。

主要阻力 F_Z 是指输送带承载段和回程段在运送物料时产生的阻力,两托辊间的输送带在物料重力作用下呈悬垂形向下弯曲,同时输送带覆盖层在托辊上不断被挤压摩擦,由此引起的阻力是输送带的主要阻力。它与带式输送机自身质量、输送带上的负载量及覆盖层的硬度弹性有关。主要阻力 F_Z 分为承载段和回程空载段进行计算:

$$F_Z = F_{Z1} + F_{Z2} \quad (1)$$

$$F_{Z1} = (q_s + q_w + q_z) L g f_z \cos \beta \mp$$

$$L g (q_s + q_w) \sin \beta \quad (2)$$

$$F_{Z2} = (q_s + q_K) L g f_K \cos \beta \pm L g q_s \sin \beta \quad (3)$$

式中: F_{Z1} 为承载段主要阻力,N; F_{Z2} 为空载段主要阻力,N;上运带式输送机计算 F_{Z1} 时取正号,计算 F_{Z2} 时取负号,下运带式输送机的阻力计算则取相反运算符号; q_s 为输送带单位长度质量,kg/m; q_w 为输送带上单位长度被运输物料的质量,t/m,可由式(4)求得; q_z, q_K 为输送带承载段和空载段托辊转动部分单位长度质量,kg/m,计算公式如式(5)、式(6)所示; L 为输送带长度,m; g 为重力加速度, m/s^2 ; β 为带式输送机倾角, $^\circ$; f_z 为输送带承载段的阻力系数; f_K 为输送带空载段的阻力系数。

$$q_w = Q/3.6v \quad (4)$$

式中: Q 为带式输送机输送量,t/h; v 为输送带平均运行速度,m/s。

$$q_z = G_z/l_z \tag{5}$$

$$q_k = G_k/l_k \tag{6}$$

式中： G_z 为输送带承载段托辊转动部分质量，kg； G_k 为空载段托辊转动部分质量，kg； l_z 为承载段托辊间距，m； l_k 为空载段托辊间距，m。

输送带的阻力系数设置见表 1。

表 1 输送带的阻力系数

Table 1 Resistance coefficients of belt

工作条件	f_z	f_k
设备工作良好，无污染	0.021~0.025	0.025~0.035
设备工作较好，轻微污染	0.025~0.030	0.030~0.040
设备工作较好，严重污染	0.030~0.035	0.035~0.045
严重污染，空气含尘量高	0.035~0.045	0.040~0.050

3 带式输送机张紧力预测

带式输送机在实际运行过程中，张紧力的变化主要受负载的影响，而负载的大小可以由电动机电流来反映。根据电动机电流进行负载预测，再根据负载与张紧力的关系，求得带式输送机张紧力的预测值。

3.1 负载与电流的关系

首先分析带式输送机的工作机理，电动机选用异步交流电动机。根据做功关系，输入功率等于电磁功率与定子回路的功率损耗，而电磁功率包括转子回路中绕组的铜损耗和机械功率。机械功率 P_m 包括带式输送机上的传动功率和机械传动能耗。

$$P_m = Tu/\eta_z \tag{7}$$

式中： T 为已知的驱动滚筒驱动力，N； u 为滚筒的转速，r/min； η_z 为传动效率。

根据异步电动机的转矩公式可得到驱动电动机转子电流和驱动滚筒驱动力之间存在以下关系：

$$T = f(n, N, K, \phi)I \tag{8}$$

式中： n 为驱动电动机转速，r/min； N 为相转子绕组的总匝数； K 为转子绕组的基波绕组系数； ϕ 为气隙磁场中每级的主磁通量，Wb； I 为转子电流值，A。

由以上分析可知，每个定子电流值都有对应的负载值，而每个负载值都有相应的张紧力，所以，电动机电流的变化可以反映出负载的变化规律，而负载的变化可以用于预测下一时刻所需的张力值。本文利用 BP 神经网络^[15-16]对电动机的电流值进行预测，根据负载与张紧力之间的函数关系推导出所需张紧力。

3.2 张紧力预测

根据带式输送机的实际工况进行电流数据采

集，采集时间间隔为 50 ms，随机选取 1 000 个样本数据，并进行数据归一化处理，归至[-1,1]区间，归一化处理前后的部分样本见表 2。

表 2 带式输送机电流样本数据

Table 2 Sample data of belt conveyor current

序号	采集数据/A	归一化数据
1	43.103 5	-0.340 6
2	43.955 5	0.028 7
3	45.924 1	0.881 9
4	44.956 1	0.462 4
⋮	⋮	⋮
502	42.366 7	-0.659 9
503	42.602 5	-0.557 6
504	43.736 9	-0.066 0
⋮	⋮	⋮
996	41.366 7	-0.688 1
997	44.657 8	0.345 7
998	45.493 0	0.608 1
999	43.788 5	0.072 6
1 000	41.366 7	-0.688 1

根据以上数据集(表 2)，利用 Matlab 神经网络工具箱进行 BP 神经网络训练分析，其训练过程如下：

(1) 初始化 BP 神经网络参数。神经网络参数见表 3。

表 3 BP 神经网络参数

Table 3 Parameters of BP neural network

参数	数值	参数	数值
输入层节点	2	输出节点	2
隐含层节点	100	激励函数	Pureline
训练方法	trainlm	迭代次数	500
性能指标	MSE	学习率	0.01

(2) 获取测试样本数据集，对训练数据进行归一化处理。

(3) 训练 BP 神经网络。选取均方误差值 MSE 为评价指标，即

$$MSE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_i - \hat{x}_i)^2 \tag{9}$$

式中： M 为预测样本数量； x_i 为期望值； $\hat{x}_i$ 为预测值。

对带式输送机实际工作电流进行训练，计算网络输出值和误差值，若误差值满足预设条件，则输入测试数据样本进行预测测试，否则，根据权值和阈值

调整,对权值和阈值进行修正并重新计算输出值,直至误差满足要求。

(4) 对样本进行反归一化,输出预测结果,完成BP神经网络预测的训练。

分别对 300,600,950 组数据进行神经网络训练,用于预测带式输送机未来 3 s 内的电流变化趋势,神经网络的训练结果如图 2 所示。

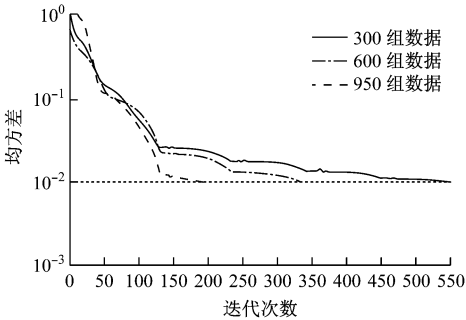


图 2 3 组数据的 BP 神经网络训练结果
Fig. 2 Training results of three groups data with BP neural network

由图 2 可知,用 BP 神经网络进行训练时,样本训练集数据越多,训练的效果越优。

不同大小的样本数据集的预测平均绝对误差如图 3 所示。由图 3 可知,样本数据集越大,预测误差越小,预测效果越精确。故本文使用 950 组数据训练的结果。

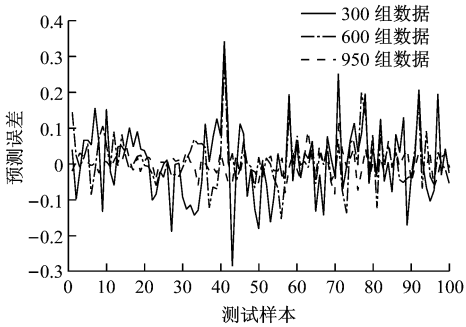


图 3 3 组数据预测误差比较

Fig. 3 Comparison of prediction error of three groups data
基于 BP 神经网络对带式输送机的负载进行预测,能够准确地反映出未来 3 s 内电流的变化趋势,满足带式输送机负载预测的要求,通过转换即可求得所需的张紧力。

4 实验分析

为了验证基于 BP 神经网络的张紧力预测方法的可行性,在综采工作面进行了张紧力自适应调控实验。本次实验中采集了带式输送机中能够反映负

载变化趋势的电流数据,带式输送机实时电流-预测电流曲线如图 4 所示。由图 4 可知,带式输送机的负载曲线存在较大波动,这是由煤矿井下复杂工况决定的,符合实际工作过程。结合采煤过程进行分析,带式输送机上的实际负载电流和预测负载电流的变化趋势与采煤工艺过程一致,在采煤机割煤过程中,带式输送机上煤量逐渐增多,随着采煤机开采方向及速度等运行参数的变化,带式输送机上的负载也随之发生一定幅度的波动,这也是引起电流波动的原因。

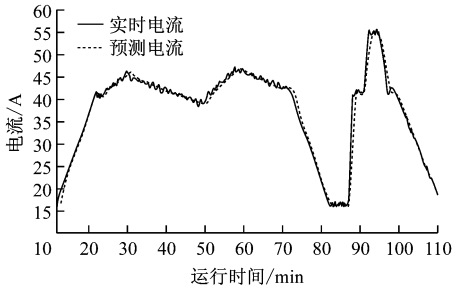


图 4 带式输送机实时电流-预测电流曲线
Fig. 4 Real time and prediction current curves of belt conveyor

通过 BP 神经网络对电动机电流进行预测,预测精度为 92.1%,能够较好地反映出带式输送机的负载变化趋势,满足带式输送机负载预测及张紧力预测精度的要求。

5 结语

提出了一种基于 BP 神经网络的带式输送机张紧力预测方法。该方法可根据负载与张紧力的函数关系,通过 BP 神经网络对带式输送机的负载进行预测,由负载实时预测张紧力,根据预测到的张紧力对带式输送机进行自适应调整,延长了输送带使用寿命,提高了带式输送机的智能化程度。实验结果表明,该方法的预测精度达到了 92.1%,能够满足带式输送机张紧力预测的需求。

参考文献(References):

[1] 陶伟忠. 基于视频的煤矿带式输送机自动调速控制系统[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(5): 28-33.
TAO Weizhong. Automatic speed control system of mine belt conveyor based on video[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(5): 28-33.
[2] 李纪栋, 蒲绍宁, 翟超, 等. 基于视频识别的带式输送机煤量检测与自动调速系统[J]. 煤炭科学技术,

- 2017,45(8):212-216.
- LI Jidong, PU Shaoning, ZHAI Chao, et al. Coal quantity detection and automatic speed regulation system of belt conveyor based on video identification [J]. Coal Science and Technology, 2017, 45 (8): 212-216.
- [3] 谷明霞,于岩,郝妮妮.长距离大倾角带式输送机方案设计及应用[J].煤炭技术,2016,35(3):247-249.
- GU Mingxia, YU Yan, HAO Nini. Design and application of long distance and steeply inclined belt conveyor[J]. Coal Technology, 2016, 35(3): 247-249.
- [4] REMBISZ J, EDSINGER A. Methods and systems for sensing tension in a timing belt; USA, 9506825 B1 [P]. 2016-11-29.
- [5] MOLNÁR V, FEDORKO G, STEHLÍKOVÁ B, et al. Analysis of asymmetrical effect of tension forces in conveyor belt on the idler roll contact forces in the idler housing[J]. Measurement, 2014, 52(1): 22-32.
- [6] IBISHI I, LATIFI A, IBISHI G, et al. Calculation of tension force of belt conveyor [J]. International Journal of Engineering Science & Technology, 2012, 4(12): 4886-4892.
- [7] 滕文超,李金良,王芬,等.输送带断带受力分析及仿真[J].煤矿机械,2014,35(5):90-92.
- TENG Wenchao, LI Jinliang, WANG Fen, et al. Force analysis and simulation of conveyor belt broken[J]. Coal Mine Machinery, 2014, 35(5): 90-92.
- [8] 李江峰,王坚,李天宇.长距离带式输送机自动张紧装置设计参数的确定[J].机械工程与自动化,2013(1): 110-111.
- LI Jiangfeng, WANG Jian, LI Tianyu. Parameter determination of automatic tensioning device of long belt conveyor [J]. Mechanical Engineering & Automation, 2013(1): 110-111.
- [9] 赵红平.带式输送机输送胶带张紧力分析[J].科技创新与生产力,2015(2):90-91.
- ZHAO Hongping. Analysis on belt tension of belt conveyor[J]. Sci-tech Innovation and Productivity, 2015(2): 90-91.
- [10] 侯红伟.带式输送机张紧装置布局探讨[J].煤矿机电,2016(6):48-50.
- HOU Hongwei. Discussion about distribution of tensioner in belt conveyor[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2016(6): 48-50.
- [11] 曹虎奇.煤矿带式输送机撕带断带研究分析[J].煤炭科学技术,2015,43(增刊1):130-134.
- CAO Huqi. Study and analysis on tear belt and break belt of belt conveyor in coal mine[J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(S1): 130-134.
- [12] 邢金玲.变频驱动带式输送机功率平衡控制研究[J].煤炭科学技术,2014,42(7):84-87.
- XING Jinling. Research on power balance control of belt conveyor with variable frequency drive[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(7): 84-87.
- [13] 王定龙,王然风,赖春林.带式输送机双电机驱动控制系统设计[J].工矿自动化,2018,44(1):74-78.
- WANG Dinglong, WANG Ranfeng, LAI Chunlin. Design of dual-motor driving control system of belt conveyor[J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(1): 74-78.
- [14] 宋冠霖,宋伟刚.带式输送机物料截面面积计算方法的评述与确定[J].煤炭学报,2017,42(增刊2): 558-563.
- SONG Guanting, SONG Weigang. Determination and review on calculation method of cross-sectional area of carrying material at belt conveyor [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(S2): 558-563.
- [15] 赵肖敏,孟文俊,张建水,等.基于BP神经网络的带式输送机故障诊断研究[J].起重运输机械,2014(2): 87-90.
- ZHAO Xiaomin, MENG Wenjun, ZHANG Jianshui, et al. Fault diagnosis of belt conveyor based on BP neural network [J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2014(2): 87-90.
- [16] 吴波,廉自生,张鑫.长距离带式输送机输送带的动态特性仿真[J].煤炭科学技术,2014,42(2):82-84.
- WU Bo, LIAN Zisheng, ZHANG Xin. Dynamic characteristic simulation for belt of long distance belt conveyor[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(2): 82-84.