

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.09.013

铣刨机后履带自动回中技术改进研究^{*}

孟文雅, 彭志威^{*}

(中联重科股份有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘要:针对铣刨机后履带转向自动回中控制精度低、效果差等问题,对铣刨机转向系统的转向角度、转向速度、滞后等特性及系统对少数周期输出信号的响应结果进行了研究,分别建立了左、右两侧转向角度与油缸位移的关系,拟合出了各阶段油缸位移随时间变化的曲线,提出了左、右回中过程区别控制的方案,采用不易受干扰的内置位移传感器,并将基于“少数据”的灰色预测技术应用到回中精度闭环控制中;对灰色预测模型GM(1,1)进行了数据测试,并通过模拟各种工况进行了转向回中实验。研究表明,预测精度达到99%以上,而基于灰色预测的自动回中控制方案可显著提高回中精度,改善系统稳定性和抗干扰性。

关键词:自动回中;转向速度;位移传感器;灰色预测

中图分类号:TH39;U418.3⁺2

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)09-1098-05

Improvement to technologies for rear tracks returning automatically of milling machine

MENG Wen-ya, PENG Zhi-wei

(Zoomlion Heavy Industry Science and Technology Co., Ltd., Changsha 410000, China)

Abstract: Aiming at the awful precision and effect of rear tracks returning automatically of milling machine, characters of turning system, such as turning angle, turning speed, system lag and the response to a little cycles of output signals were researched, the relationship of turning angle and cylinder displacement of each side was established and the fitting of a curve of cylinder displacement and time was completed. A scheme of separate control of left and right returning was presented. An interior displacement sensor not prone to be disturbed was adopted, and grey prediction based on “less data” was proposed in returning close loop control. Grey Model GM(1,1) was tested and returning experiments under different conditions were taken. The results show that the prediction accuracy is over 99% and the control method based on grey prediction significantly improves the control precision, system stability and the capability of anti-jamming.

Key words: return automatically; turning speed; displacement sensor; grey prediction

0 引言

铣刨机广泛应用于市政、高速、机场等沥青混凝土路面的养护工作中。在铣刨作业中,铣刨机后履带要与机身保持平行,这样不仅可确保设备直线行驶,也可以避免由于履带存在偏角而导致的履带磨

损,以及后履带转向油缸长期受力而影响使用寿命^[1-3]。

目前,国内大部分品牌铣刨机的后履带自动回中采用电感式接近开关控制方式,两个接近开关安装在特制的随转向油缸同步运动的金属支架上,通过转向时金属支架的相对运动,实现对履带位置的

收稿日期:2016-03-29

基金项目:湖南省自然科学基金资助项目(14JJ3149)

作者简介:孟文雅(1985-),女,湖南长沙人,硕士研究生,工程师,主要从事移动式工程机械电气控制方面的研究。E-mail:405636079@qq.com

通信联系人:彭志威,男,博士研究生,工程师。E-mail:peng-zhiwei@163.com

判断,从而控制履带自动回中。该方式除控制精度不易掌握外,最易造成的失效情况为后履带回中不稳,履带左右摆动。在安装、调试、作业、维修等过程中,由于接近开关安装位置的变化或安装支架受外力变形等原因,均可能导致这种情况的出现。或者通过安装拉线传感器的方法,根据传感器的数据信号,控制履带自动回中^[4-5]。上述两种控制方式,在实现过程中都易受工作环境、机身震动等外界因素的干扰,造成开关或传感器受损、信号受干扰致失真等情况,导致控制失效。

针对上述问题,本研究采用内置位移传感器采集油缸位移信号,根据油缸的位置信息控制履带自动回中。实验中,传感器安装于后履带左侧转向油缸。

1 转向特性分析

本研究中规定,转向过程中,油缸伸出长度较长的一侧为外侧,油缸伸出长度较短的一侧为内侧。
后履带转向系统结构图如图1所示。

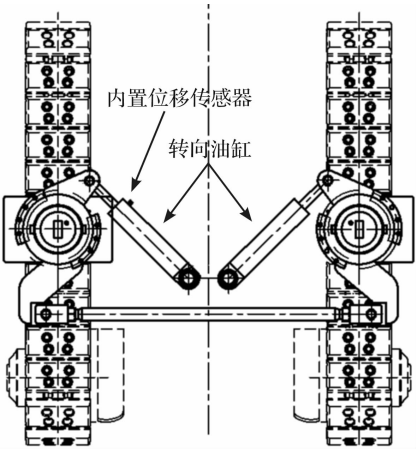


图1 后履带转向机构

由图1可知,履带偏于左侧时,左侧转向油缸伸出长度较长,为外侧,右侧油缸对应为内侧;履带偏于右侧时,左侧转向油缸伸出长度较短,为内侧,右侧油缸对应为外侧。

1.1 转角与位移的关系

本研究使用ADAMS对铣刨机后履带转向进行运动学仿真,得到内外侧油缸位移与履带转角的同步变化曲线,如图2所示。

由图2可知,转向过程中,内侧油缸的速度高于外侧油缸。

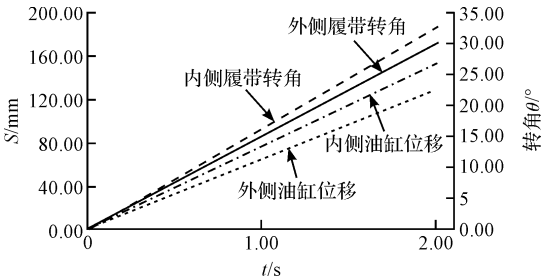


图2 转向过程中油缸位移与履带转角的变化曲线

履带角度与油缸行程的关系如图3所示。

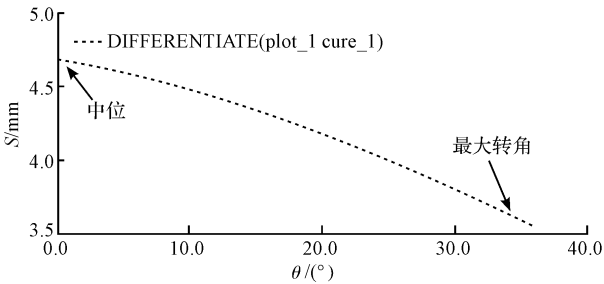


图3 履带转角与油缸行程的对应关系

从图3可以看出,转向角度和油缸行程并非严格的线性关系。由图2和图3,可以近似拟合出转向角度和油缸行程的函数关系:

(1) 左转区角度与位移对应关系:

$$y = 0.236\,3x - 0.712\,2 \tag{1}$$

式中: x —位移, y —角度。

确定系数 $R^2 = 0.998\,8$ 。

(2) 右转区角度与位移对应关系:

$$y = -0.212\,7x - 0.141\,4 \tag{2}$$

式中: x —位移, y —角度。

确定系数 $R^2 = 0.999\,8$ 。

1.2 转向速度特性分析

本研究通过NI多通道同步采集系统,记录不同工况下转向过程中油缸位移的数据变化情况,并对数据曲线进行分段拟合。拟合曲线如图4、图5所示。

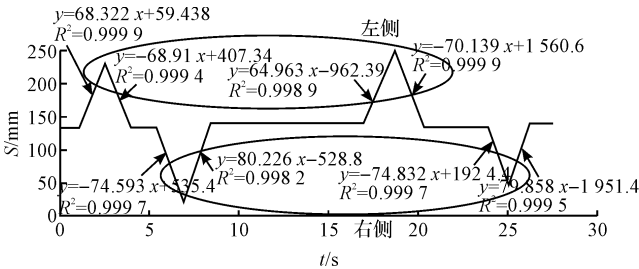


图4 自动回中拟合曲线

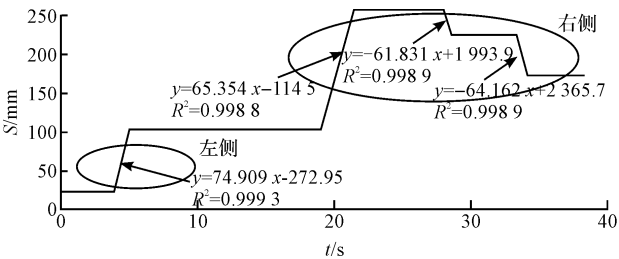


图5 手动转向拟合曲线

从拟合曲线的斜率大小,可以得出履带偏于左侧时的速度小于偏于右侧时的速度。前文中提到,位移传感器安装于后履带左侧转向油缸,履带偏于左侧时,左侧油缸为外侧,履带偏于右侧时,左侧油缸为内侧,因此得出,内侧油缸的速度高于外侧油缸,与转向仿真得出的结果一致。针对这一结论,为提高控制精度,左转和右转过程要分别控制。

1.3 系统滞后原因分析

电磁阀本身的特性对转向回中的控制效果也有至关重要的影响。电磁阀在通电和断电的过程中,由于线圈的电感特性,通过线圈的电流变化时,磁通也随之变化,从而产生感应电动势,阻止电流变化,因此电磁阀在通电和断电时电流不是跃变的;一定值时,阀芯开始

运动,由于阀芯运动而引起同时,随着电流的增长或降低,吸力增大或减小到电感的变化,产生反电动势,即形成电流变化过程中的电流反向波动,直至阀芯完全打开或闭合。电磁阀从通电至阀芯完全打开所用的时间为吸合时间,电磁阀从断电至阀芯完全闭合所用时间为释放时间^[6-7]。释放时间内,控制系统已停止回中输出信号,但由于阀芯未闭合,系统压力仍存在,故转向油缸继续运动,因而形成了系统滞后,成为影响控制精度的重要因素。

2 改进设计及结果

2.1 改进控制方案设计

该方案中由控制器采集位移传感器的电流信号,同时判断自动回中开关和转向开关的状态。自动回中状态下,控制器通过比较位移信号和中位信号,判断并控制转向油缸的动作,实现自动回中。其中,转向开关信号的优先级高于自动回中信号。实现时,首先要确定履带中位信号。手动将后履带调整到中位状态,并记录此时位移传感器的信号值作为中位值。控制流程图如图6所示。

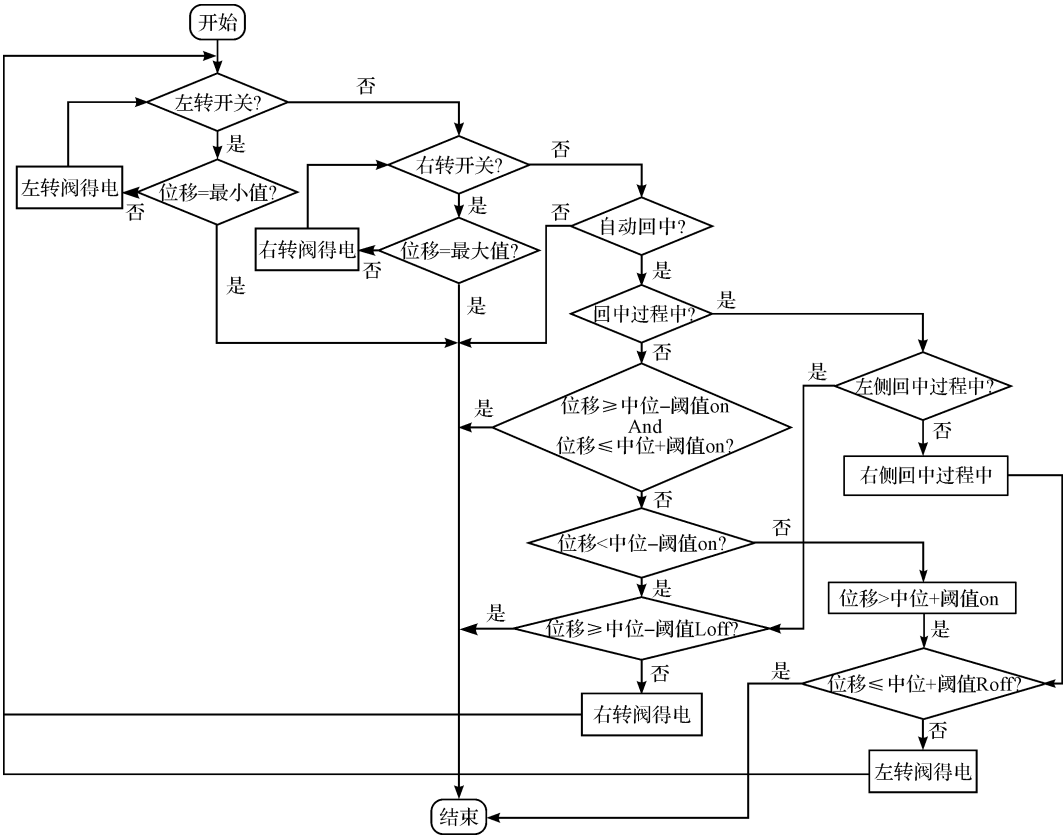


图6 控制流程图

其中,位移最大/最小值分别为左侧转向油缸完全伸出和完全缩回时位移传感器的数值,为转向的极限状态;阈值_{on}和阈值_{off}代表自动回中调节开启和停止的位移条件,阈值_{on}即死区,阈值_{off}决定控制精度,由于左右转向分别控制,阈值_{off}区分左右。

在回中的闭环控制中,阈值_{off}数值的选取决定了控制的最终精度。数值设置过小,易造成回中过度,若进行二次调节将造成车身摆动,直接影响机手的操作感受;数值设置过大,会降低控制精度,若再继续二次调节同样降低操作舒适度,并可能影响机手的判断。因此在确定阈值_{off}的数值时,要全面考虑各种工况因素及设备本身的特性。

2.2 灰色预测控制

为提高控制精度,当履带距中位的距离小于阈值_{off},即控制器停止回中输出信号后,系统实时检测位移信息,通过建立灰色预测模型^[8-11],获得一定时刻后履带的位置信息,并根据该预测结果决定是否对系统进行微调干预。

本研究取后履带自动回中过程中连续 10 个时刻的位置信息作为原始序列 $X^{(0)}$:

$$X^{(0)} = \{150.1, 149, 148.5, 147.7, 147.9, 146.4, 144.7, 144.5, 143.6, 142.5\},$$

其一次累加生成序列为 $X^{(1)}$:

$$X^{(1)} = \{150.1, 299.1, 447.6, 595.3, 743.2, 889.6, 1\,034.3, 1\,178.8, 1\,322.4, 1\,464.9\},$$

紧邻均值生成序列 $Z^{(1)}$,即:

$$Z^{(1)} = \{224.6, 373.35, 521.45, 669.25, 816.4, 961.95, 1\,106.55, 1\,250.6, 1\,393.65\},$$

数据矩阵 B 和 Y ,即:

$$B = \begin{bmatrix} -224.6 & 1 \\ -373.35 & 1 \\ -521.45 & 1 \\ -669.25 & 1 \\ -816.4 & 1 \\ -961.95 & 1 \\ -1\,106.55 & 1 \\ -1\,250.6 & 1 \\ -1\,393.65 & 1 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} 149 \\ 148.5 \\ 147.7 \\ 147.9 \\ 146.4 \\ 144.5 \\ 143.6 \\ 142.5 \end{bmatrix}。$$

参数序列 $\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$,且满足 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$,可得

灰色 GM(1,1) 预测模型的时间响应序列为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{150.75}{0.0057} \right] e^{-0.0072k} + \frac{150.75}{0.0057} \tag{3}$$

还原序列的灰色预测模型为:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = (1 - e^{0.0057}) \left[x^{(0)}(1) - \frac{150.75}{0.0057} \right] e^{-0.0057k} \tag{4}$$

通过上述模型,可以预测得到第 11 ~ 20 时刻的位置信息,预测值与实际值之间的对比如表 1 所示。

表 1 预测值与实际值数据对比

	时刻 11	时刻 12	时刻 13	时刻 14	时刻 15
预测值	141.95	141.12	140.33	139.53	138.73
实际值	141.9	140.6	139.8	139.2	138.2
预测精度/(%)	99.96	99.63	99.62	99.76	99.61

	时刻 16	时刻 17	时刻 18	时刻 19	时刻 20
预测值	137.94	137.15	136.36	135.59	134.81
实际值	137.8	137.5	136.5	135.5	135
预测精度/(%)	99.9	99.75	99.9	99.93	99.86

由该实例可以看出,采用 GM(1,1) 灰色预测模型可以很好地预测出控制器停止回中输出信号后履带的运行轨迹,通过滚动预测得到的实时数据,可以判断出当前情况下履带是否能够准确回中。若在回中过程中出现扰动,使系统压力突变,可能导致履带回中产生较大偏差,此时,根据预测结果,可以在回中过程中对履带进行微调,通过少数个周期的输出转向信号,可以改变系统电流及压力曲线,从而实现调节回中精度但不使机器产生摆动。

控制器按周期输出回中信号时油缸的响应效果如图 7 所示。

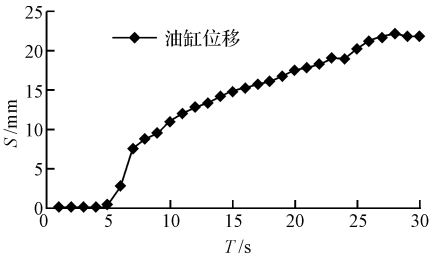


图 7 周期输出结果

当回中需要进行微调节时,即可按照图 7 中输出周期与油缸位移的关系,按周期输出信号,以调整电流及压力曲线。

2.3 实验结果与分析

考虑到实际施工工况,实验中发动机转速设定为怠速档、中速档和高速档,行走速度分为施工档和转场

档。本研究分别测试各发动机转速下的原地转向、施工档行走转向、转场档行走转向,获得的数据如表 2 所示,其中,中位值取 12 600。

表 2 自动回中数据

序号	左转 位移	左转速度/ (mm·s ⁻¹)	左转误差/ mm	右转 位移	右转速度/ (mm·s ⁻¹)	右转误差/ mm
1	12 665	-58.035 7	1.056 25	12 550	69.642 86	-0.812 5
2	12 675	-58.035 7	1.218 75	12 545	71.964 29	-0.893 75
3	12 550	-55.714 3	-0.812 5	12 570	67.321 43	-0.487 5
4	12 530	-51.071 4	-1.137 5	12 560	62.678 57	-0.65
5	12 600	-58.035 7	0	12 560	65	-0.65
6	12 680	-46.428 6	1.3	12 520	60.357 14	-1.3
7	12 700	-41.785 7	1.625	12 455	46.428 57	-2.356 25
8	12 730	-46.428 6	2.112 5	12 500	51.071 43	-1.625
9	12 670	-51.071 4	1.137 5	12 510	44.107 14	-1.462 5
10	12 590	-53.392 9	-0.162 5	12 570	55.714 29	-0.487 5
11	12 675	-44.107 1	1.218 75	12 465	46.428 57	-2.193 75
12	12 700	-46.428 6	1.625	12 490	53.392 86	-1.787 5
13	12 655	-41.785 7	0.893 75	12 480	44.107 14	-1.95
14	12 795	-58.035 7	3.168 75	12 785	71.964 29	3.006 25
15	12 760	-55.714 3	2.6	12 720	62.678 57	1.95
16	12 710	-58.035 7	1.787 5	12 630	65	0.487 5
17	12 675	-58.035 7	1.218 75	12 755	65	2.518 75
18	12 450	-58.035 7	-2.437 5	12 750	69.642 86	2.437 5
19	12 560	-55.714 3	-0.65	12 380	60.357 14	-3.575
20	12 770	-48.75	2.762 5	12670	67.321 43	1.137 5

从这些数据中可以看到,改进后的回中误差最大值为 3.575,左转平均误差为 1.093 6,右转平均误差为 1.185 9,不仅完全可以满足设备的性能要求,同时彻底避免了由于工况环境等因素导致回中不稳、车身左右摆动的情況。

3 结束语

铣刨机转向自动回中控制过程中,阈值_{off}决定了控制精度。本研究通过对铣刨机转向系统进行仿真,以及对实测转向数据的拟合分析,得出转向过程中内侧油缸的速度高于外侧油缸的结论。针对这一系统特性,本研究改进的控制方案充分考虑系统滞后及工况条件,并分别确定左、右阈值_{off},同时应用 GM(1,1)模

型对履带运行轨迹进行滚动预测,使系统对于干扰进行及时反应,预测精度达到 99% 以上。对于外界干扰未知的系统,闭环控制能够保证控制精度,灰色预测的应用实现了系统的闭环,对由于扰动引起的系统压力突变实时调整了系统输出设定,采用周期信号调节了系统输出,保证了回中的准确性。

实验结果表明,改进后左、右转向回中的位移平均误差分别为 1.093 6 mm 和 1.185 9 mm,对应转角误差分别为 0.453 8°和 0.393 6°,且回中过程中没有履带左右摆动现象,控制精度及稳定性满足设备性能要求,同时该方案为油缸位移控制提供一种研究方向。

参考文献(References):

[1] 李新德,陈爱荣. 履带工程机械行走机构损坏原因分析[J]. 矿山机械,2006,3(34):104-105.

[2] 郭 祥,任晓军. 铣刨机在路面铣刨工程中的应用[J]. 筑路机械与施工机械化,2008,25(11):56-59.

[3] 黄 波,李崧俊,阚玉红. 基于 ADAMS 的莱履带式机器人机动性能分析[J]. 兵工自动化,2014,33(11):37-39.

[4] 赵 贺,刘 熹. 路面铣刨机后履带轮自动回中控制装置的改进[J]. 工程机械与维修,2015,22(10):77.

[5] 涂群章,张晓辰,潘明,等. 电传动履带车辆转向补偿控制策略研究[J]. 机电工程,2015,32(5):591-595.

[6] 张 榛. 电磁阀动态响应特性的有限元仿真与优化设计[J]. 空间控制技术与应用,2008,34(5):53-56.

[7] 吴 萌,熊庆辉,王浚哲,等. 电磁阀开启过程动态响应特性有限元仿真研究[J]. 长春理工大学学报:自然科学版,2015,38(2):117-120.

[8] 李君. 灰色预测控制在电机控制中的应用[J]. 自动化技术与应用,2010,29(1):8-11.

[9] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002,462-466.

[10] DENG Ju-long. Grey Modeling in Less Data[J]. The Journal of Grey System,1999(3):222.

[11] 吴晓威. 灰色预测控制方法研究[D]. 太原:太原科技大学电子信息工程学院,2009.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

孟文雅,彭志威. 铣刨机后履带自动回中技术改进研究[J]. 机电工程,2016,33(9):1098-1102.

MENG Wen-ya, PENG Zhi-wei. Improvement to technologies for rear tracks returning automatically of milling machine[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(9):1098-1102.

《机电工程》杂志:http://www.meem.com.cn