

文章编号:1671-8879(2011)01-0098-04

基于模糊 PID 控制沥青砂浆车液压调平系统

房怀英,杨建红,吴仕平

(华侨大学 机电及自动化学院,福建 泉州 362021)

摘 要:针对施工中沥青砂浆搅拌车的计量设备受其水平度影响大和频繁移动的特点,以可编程逻辑控制器(PLC)为控制核心,开发了 4 点液压调平系统,分别以 PID(比例、积分、微分)和模糊 PID 为调平控制方法进行试验对比研究。结果表明:在满足调平精度为 $\pm 0.1^\circ$ 前提下,模糊 PID 调平控制的调平时间为 8.5 s, PID 调平控制的调平时间为 23 s;模糊 PID 控制通过优化调平过程中阀的开度,能够显著提高调平效率和调平精度,基于模糊 PID 控制调平能提高沥青砂浆车的计量精度和施工效率。

关键词:机械工程;沥青砂浆车;液压调平;模糊 PID;比例阀

中图分类号:U415.5; TH455.06

文献标志码:A

Hydraulic leveling system for asphalt mortar vehicle based on fuzzy PID control strategy

FANG Huai-ying, YANG Jian-hong, WU Shi-ping

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, Fujian, China)

Abstract: The accuracy of metrology equipment can be influenced by levelness when asphalt mortar vehicle is working and need move often. A four-point-leveling system is developed based on key control unit of PLC(programmable logic controller). Some contrast experiment is studied by PID(proportion, integral, derivative) control strategy and fuzzy PID control strategy. The results show that the total leveling time of asphalt mortar vehicle is only 8.5 seconds by fuzzy PID control strategy and total leveling time is 23 seconds by PID control strategy. The fuzzy PID control strategy can improve leveling efficiency and leveling accuracy significantly by changing the value of the proportional valve. The leveling system based on fuzzy PID can improve the metrology accuracy and construction efficiency. 1 tab, 5 figs, 7 refs.

Key words: mechanical engineering; asphalt mortar vehicle; hydraulic leveling; fuzzy PID; proportional value

0 引 言

随着中国高速铁路的发展,板式无碴轨道得到了广泛的应用,可频繁移动的沥青砂浆搅拌车是高

铁建造过程中关键设备之一。沥青砂浆水泥是由沥青、水泥、沙子和添加剂等组成,组成成分之间具有严格的配比要求。然而,随着路况的变化,液位计量、固态料称重等设备的准确度,受到较大的影响,

收稿日期:2010-03-10

基金项目:福建省重大专项专题项目(2008HZ0002-1);福建省自然科学基金项目(D0810019);国务院侨办自然科学基金项目(08QZR02)

作者简介:房怀英(1978-),女,江苏东台人,讲师,工学博士研究生,E-mail:yjzhong@hqu.edu.cn。

施工要求沥青砂浆搅拌车在搅拌前必须进行水平度调整。车载调平系统在很多领域里得到了应用,特别是在军事方面,经常用于导弹发射平台的调平^[1-2]。德国博格公司的沥青砂浆车代表了国际先进水平,但其调平技术不完善,调平的顺序也是单一固定的,为了保证其调平的稳定性,基本上是基于两点调平,调平是以地面为基准面,整车调平的效果很大程度上依赖于路面的平整情况。文献[3]利用电液比例阀开发了车载雷达调平系统,但是该调平系统在需要频繁移动的情况下,存在调平时间和辅助时间长、调平效率低等缺点。针对沥青砂浆车在施工过程中需频繁移动、施工路况复杂等特点,本文开发了以汽车轮胎为软基准支撑面 4 点液压调平系统。以 PLC 为控制核心设计了电磁比例阀液压调平控制系统,采用模糊 PID 控制进行了沥青砂浆车液压调平试验研究,结果表明,在满足了调平精度为 $\pm 0.1^\circ$ 的前提下,调平时间为 8.5 s 左右,满足了沥青砂浆搅拌车在频繁移动中的调平效率和调平精度的要求。

1 砂浆车液压调平系统硬件设计

1.1 调平系统硬件组成

考虑调平过程中的安全性,调平原则为:首先确定 4 点中最高点,然后其余 3 点采取只升不降的调平原则^[4-5]。由于 3 点确定 1 个平面,因此 3 点调平时不会出现虚腿现象,但是 4 点调平在不同的路况下经常出现虚腿。如果不对虚腿进行检测和及时的处理,调平过程中容易出现翻车,因此,设计时在每个支撑点安装压力检测装置,如果预调平后某一支撑点压力低于设定值,则重新进行预调平。在预调平过程中,由于每个支撑点在不同的路况下载重会发生变化,因此在砂浆车底部设计 4 个上限位开关,在预调平时每个支撑点到达上限位时,则该点预调平结束。基于以上考虑,沥青砂浆车液压调平控制系统结构如图 1 所示。调平工作过程主要为:①给定电液比例阀开度,使调平支撑点同时向上平移至预调平开关位置,从而避免调平过程中虚腿和液压缸支撑部位卡死;②角度传感器检测箱体倾斜角度,确定最高点;③横向开始调平并达到设定精度,然后纵向开始调平并达到设定精度;④当调平过程中任意油缸行程超过上限位开关,则切断电源进入调平保护状态;⑤退出调平,为了提高收腿速度,采用 4 个油缸同时向下平移,当油缸平移至下限位开关时,则停止收腿。图 1 中 PLC 采用三菱 FX2N-16MT,

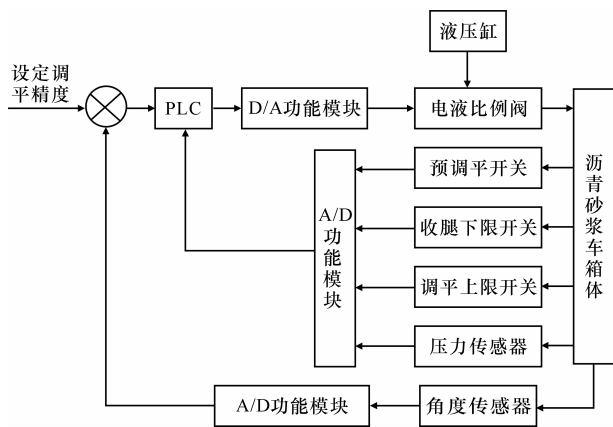
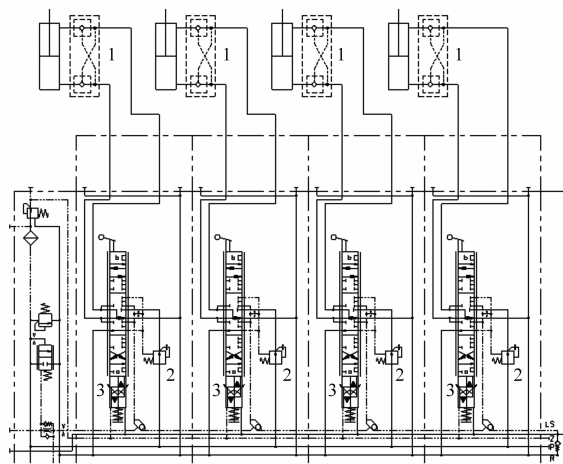


图 1 调平系统硬件组成

D/A 功能模块采用 FX2N-4DA, A/D 功能模块采用 FX2N-8AD, 角度传感器采用 AT201-SIA-EGOT 双倾角传感器, 传感器输出为双轴电流输出, 可设置倾角输出量程为: $\pm 3^\circ$ 、 $\pm 5^\circ$ 、 $\pm 8^\circ$ 等。

1.2 调平系统液压回路设计

沥青砂浆车液压调平原理如图 2 所示。



1-调平油缸;2-液控单向阀;3-电液比例阀

图 2 液压调平原理

液压泵通过吸油滤清器从油箱中吸油, 液压泵站通过三位四通换向电磁阀给调平系统供油。在收腿时, 各调平支腿载重较大, 如果直接通过油缸上腔油压使调平箱体下降, 则油压会出现较大的波动, 表现为油缸出现较强的振动声音。通过现场调试得出, 直接依赖箱体自重, 同时控制液控锁的开口, 这样在收腿过程中, 油缸表现平稳。

根据计算, 砂浆车箱体总质量约为 42 t, 靠近车头 2 个缸载质量 m 约 15 t, 后面 2 个油缸载质量约为 6 t, 压力计算按缸所承受的最大压力来计算, 缸径选用 110 mm。液压缸在工作过程中所承受的最大重力 F 为

$$F = mg = 15 \times 10^3 \times 9.8 = 1.47 \times 10^5 \text{ (N)}$$

(1)

缸所承受的压力 p_1 为

$$p_1 = F/A = \frac{1.47 \times 10^5}{(\pi \times 0.055^2)} = 15.5 \text{ (MPa)}$$

(2)

式中: A 为液压缸面积。

主压力油路中阀体及管路损失的压力 ($\sum \Delta p$) 按总压力的 30% 计算,公式为

$$\sum \Delta p = p_1 \times 0.3 = 4.65 \text{ MPa}$$

(3)

则液压泵的最大工作压力 p_{\max} 为

$$p_{\max} = p_1 + \sum \Delta p = 15.5 + 4.65 = 20.15 \text{ (MPa)}$$

(4)

2 基于模糊 PID 控制调平系统设计

2.1 模糊 PID 控制器的设计

沥青砂浆车在施工过程中需要频繁移动,当移动到一个新的位置需要重新调平时,为了提高生产效率,要求调平时间短,调平过程平稳^[6-7]。文献[3]在调平过程中比例阀的开度为常数,如果满足调平时间要求,必须要求阀的开度较大,这很容易引起过调,难易满足调平精度要求;反之,如果阀的开度过小,则调平时间延长。因此最优化的调平策略为:调平开始阶段倾角较大,采用较大的阀的开度和调平速度;当倾角慢慢变小时,采用较小的调平速度和阀的开度,模糊 PID 控制能满足变速调平的要求,从而在满足调平精度的前提下提高调平效率。

假设 e 为每次检测倾角和设定精度的差,即为误差; e_c 为角度传感器前后 2 次检测倾角之差,即为误差变化率; E 和 E_c 分别为 e 和 e_c 的模糊化后误差和误差变化率。模糊 PID 调平参数 K_p 、 K_i 和 K_d 分别为

$$\left. \begin{aligned} K_p &= K'_p + \{E, E_c\}_p \\ K_i &= K'_i + \{E, E_c\}_i \\ K_d &= K'_d + \{E, E_c\}_d \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中: $\{E, E_c\}_p$ 、 $\{E, E_c\}_i$ 、 $\{E, E_c\}_d$ 均为参数校正量,通过模糊推理得到; K'_p 、 K'_i 、 K'_d 均为模糊 PID 参数的初始值。

调平精度倾角误差 E 选取 8 个语言值:NB、NM、NS、N0、P0、PS、PM、PB,分别代表负最大值、负中间值、负最小值、负零、正零、正最小值、正中间值、正最大值。调平精度倾角误差变化率 E_c 选取 7 个语言值:NB、NM、NS、0、PS、PM、PB;模糊控制器采用三角形隶属度函数。根据与对控制策略的总结,

得到 56 条语句组成的控制规则,建立液压调平控制器的模糊控制规则见表 1。表 1 中的控制量变化原则为:当倾斜角度大时,选择控制量以消除倾角误差为主;当倾角较小时,选择控制量以防止超调和提高系统稳定性为主。

表 1 模糊控制器控制规则

E	E_c						
	NB	NM	NS	0	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	0	0
NM	PB	PB	PB	PB	PM	0	0
NS	PM	PM	PM	PM	0	NS	NS
N0	PM	PM	PS	0	NS	NM	NM
P0	PM	PM	PS	0	NS	NM	NM
PS	PS	PS	0	NM	NM	NM	NM
PM	0	0	NM	NB	NB	NB	NB
PB	0	0	NM	NB	NB	NB	NB

2.2 液压调平系统软件设计

沥青砂浆车液压调平系统主要流程如图 3 所示,图中 $\text{abs}(\alpha)$ 为 α 的绝对值。

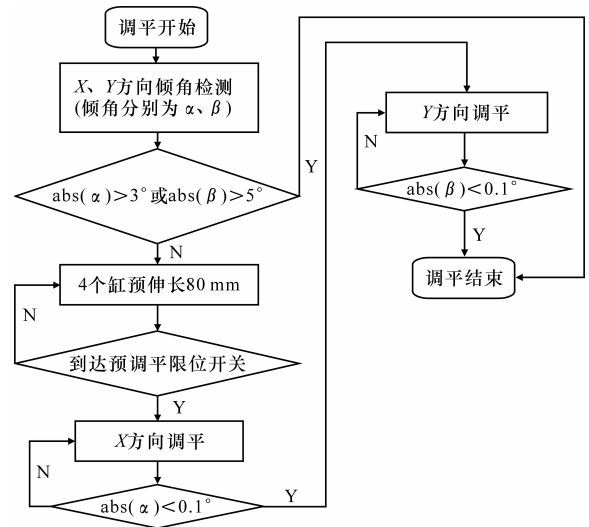


图 3 调平系统流程

除此以外,调平控制还需满足现场施工的安全要求,因此在调平主流程中需要增加虚腿检测子程序、油缸超行程保护子程序和快速收腿子程序。虚腿子程序主要功能为:在油缸预伸长 80 mm 后,当 4 个油缸的压力传感器检测油压小于设定值时,增加该油缸阀的开度,直到检测压力满足设定需求;油缸超行程保护子程序的功能为:油缸总行程依据沥青砂浆车安全倾角范围而确定,现场调试证明,安全行程为总行程的 80% 左右,在每个油缸装有上限位开关,当油缸工作行程超过安全行程时,直接切断调平系统供电电源,停止调平;为了提高收腿效率,快速收腿子程序需满足的功能为:在每个油缸装有下列

限位开关,收腿时,同时打开 4 个比例阀,当每个油缸到达下限位开关位置时,则比例阀关闭。

3 液压调平系统试验研究

采用模糊 PID 控制方法,对沥青砂浆车液压调平系统进行现场调试,为了证明模糊 PID 控制方法的有效性,分别采用 PID 控制和模糊 PID 控制进行对比试验,对不同调平控制方法的调平时间和调平精度进行试验,试验结果如图 4、图 5 所示。

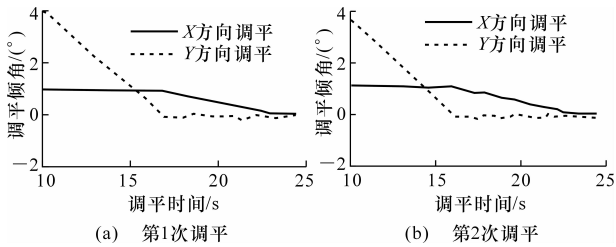


图 4 PID 控制液压调平

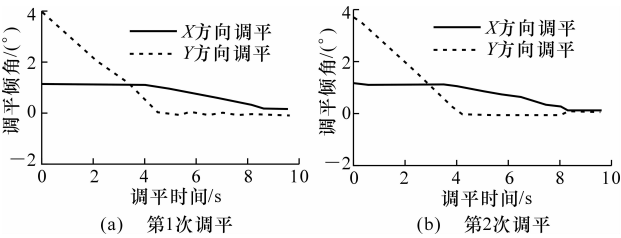


图 5 模糊 PID 控制液压调平

对每种调平控制方法分别进行 2 次试验,第 1 次调平 X 方向初始角度为 4° ,Y 方向的初始角度为 1.1° ;第 2 次调平 X 方向初始角度为 3.6° ,Y 方向的初始角度为 1.05° 。

由图 4、图 5 可以看出:①PID 控制调平和模糊 PID 控制调平具有很好的重复性,2 次调平倾角变化过程基本相同;②由于受比例阀制造精度及其油压波动变化的影响,当 X 方向角度调平后,在 Y 方向调平过程中,X 方向的角度又发生了变化;③在满足 X、Y 方向调平精度均为 $\pm 0.1^\circ$ 的前提下,PID 控制方法调平时间为 23 s,而模糊 PID 控制方法调平时间为 8.5 s。这主要是因为,在调平开始阶段,模糊 PID 控制方法的控制量主要以减小倾角误差为主,阀的开度较大;当倾角很小时,控制量以逼近调平精度为主,阀的开度比较小,从而提高了调平效率和调平精度。

4 结 语

(1)通过先对 X 方向调平,然后再对 Y 方向调

平,调平过程中由于油压的波动,2 个方向倾角互相影响,但是通过反复多次调平后,基本上能满足调平精度要求。

(2)采用模糊 PID 调平控制,能够根据箱体倾角变化而改变阀的开度,因此在和 PID 控制方法获得相同的调平精度时,模糊 PID 调平时间显著缩短;基于模糊 PID 控制的快速调平,能够满足沥青砂浆车施工中频繁移动的要求。

参考文献:

References:

- [1] 盛英,仇原鹰. 6 腿支撑液压式平台自动调平算法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版),2003,29(5):594-597.
SHENG Ying, QIU Yuan-ying. An automatic adjusting algorithm for the hydraulic platform with six legs[J]. Journal of Xidian University: Natural Science Edition, 2003, 29(5): 594-597.
- [2] 李小波,孙智勇. 雷达天线自动调平系统的设计与实现[J]. 现代雷达,2006,23(7):74-76.
LI Xiao-bo, SUN Zhi-yong. Design and realization of automatic adjust level system for radar antenna pedestal[J]. Modern Radar, 2006, 23(7): 74-76.
- [3] 李忠干. 某雷达自动调平机构的设计分析[J]. 火控雷达技术,2002,31(3):43-47.
LI Zhong-yu. Design analysis of automatic leveling mechanism in a radar[J]. Fire Control Radar Technology, 2002, 31(3): 43-47.
- [4] 李国厚. PLC 原理与应用设计[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [5] 龚仲华. 三菱 FX/Q 系列 PLC 应用技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2006.
- [6] 刘林芝,王黎,辛鑫. 摊铺机自动调平系统模糊控制器的设计[J]. 水利电力机械,2007,29(6):26-28.
LIU Lin-zhi, WANG Li, XIN Xin. Design of the fuzzy controller for automatic levelling system of asphalt paver[J]. Water Conservancy & Electric Power Machinery, 2007, 29(6): 26-28.
- [7] 简晓春,盛鹏程,廖昌荣,等. 基于磁流变阻尼器的发动机振动模糊 PID 控制[J]. 汽车工程,2009,31(2):123-126.
JIAN Xiao-chun, SHENG Peng-cheng, LIAO Chang-rong, et al. Fuzzy-PID control for engine vibration based on magnetorheological damper[J]. Automotive Engineering, 2009, 31(2): 123-126.