

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.03.010

基于容积补偿的气体泄漏检测 遗传 PID 控制研究*

熊四昌,高玉科,钱冰,李栋

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室,浙江 杭州 310014)

摘要:针对基于容积补偿的泄漏检测 PID 控制方法只适用于抽样检测或小批量检测而不适用于大批量产品检测的问题,在容积补偿泄漏检测平台上对 PID 控制方法进行了分析研究,在其基础上进行了改进,提出了一种新的控制方法改进的遗传 PID 控制容积补偿法。最后分别采用 PID 控制方法与改进的遗传 PID 控制方法作为容积补偿控制算法,设计了检测系统的控制软件,并进行了实验。研究表明,相对于 PID 控制方法,改进的遗传 PID 控制容积补偿法在保持其他性能指标的同时大大提高了系统检测效率。

关键词:容积补偿;改进的遗传比例-积分-微分控制;泄漏检测

中图分类号:TH863

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)03-0348-04

Gas leak detection based on volume compensation genetic PID control

XIONG Si-chang, GAO Yu-ke, QIAN Bing, LI Dong

(The Ministry of Education Key Lab of Mechanical Manufacture & Automation,
Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the leak detection of PID control method based on volume compensation is only applicable to sampling inspection or small batch, and does not apply to mass product testing, PID control method was studied on the volume to compensate the leak detection platform, improved on the basis of that, a new control method-Improved Genetic PID control volume compensation method was proposed. Finally, detecting system control software was designed by using the algorithm of PID control method and improved genetic PID control method as the volume-compensation control. Experiments were done with the software. The results indicate that relative to PID control method, improved genetic PID control volume compensation method while maintaining other performance indicators greatly improves the system detection efficiency.

Key words: volume compensation; improved genetic PID control; leak detection

0 引 言

泄漏检测也叫气密性检测,广泛应用于现代生活中的方方面面如机械制造、石油、医疗等。在一些行业中,气密性被当作某些产品的一个重要质量指标^[1]。现有的容积补偿泄漏检测 PID 控制方法虽也能对被测

物进行精确地检测,但其检测时间长、检测效率不高,只可适用于抽样检测或小批量检测^[2-3]。这种检测方法并不能满足企业大批量检测的要求,影响着企业的发展。

针对检测效率低的问题,本研究在原有的容积补偿泄漏检测 PID 控制方法基础上进行改进,提出改进

收稿日期:2014-11-03

基金项目:浙江省科技计划资助项目(2008C21146);浙江省重中之重学科开放基金资助项目(未提供)

作者简介:熊四昌(1960-),男,江西南昌人,博士,教授,硕士生导师,主要从事机电检测与控制方面的研究. E-mail:gyk18766894268@163.com

的遗传PID控制容积补偿法。

1 容积补偿气体泄漏检测原理

容积补偿结构如图1所示。本研究在差压法的气路基础上加入一容积补偿装置。电路上将MCU、驱动电机以及差压传感器连接成闭环^[4]。当检测所得差压超过设定值时,MCU控制电机进而控制气缸进行补偿,使差压重归于零值附近。如此往复,当系统处于动态平衡时,被测容器泄漏量就等于气缸补偿量。因此,只要得到气缸补偿量即可求得系统泄漏率^[5]。

容积补偿法泄漏率计算公式如下:

$$Q_L = \frac{\Delta V_L}{\Delta t} = \frac{\pi \frac{d^2}{4} l \times 10^{-3}}{\Delta t} = \frac{\pi d^2 l}{4 \Delta t} \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中: ΔV_L —容积补偿量, mL; d —气缸直径, mm; l —气缸进给位移, mm。

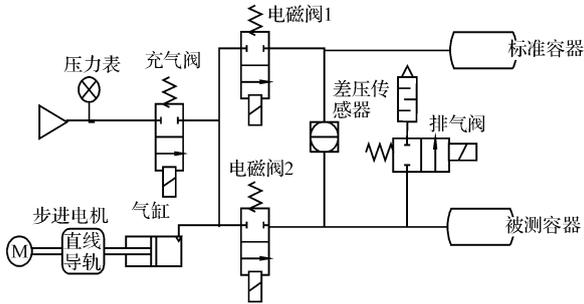


图1 容积补偿结构图

2 遗传算法PID控制容积补偿

实验中发现普通PID作为检测系统算法时检测时间长,检测效率还有待于提高^[6]。因此鉴于遗传PID的快速响应特点,本研究在其基础上进行了改进并将之作为检测系统控制算法进行实验。

2.1 改进的遗传算法

交叉概率 p_c 与变异概率 p_m 为遗传算法中两个关键性参数。对两个参数的选择将影响到遗传算法的性能及收敛性。交叉概率 p_c 越大,遗传模式被破坏的可能性也越大;变异概率 p_m 越大,遗传算法可能会变成纯粹的随机搜索算法。因此,对于不同的优化问题必须通过反复实验寻找合适的交叉概率 p_c 与变异概率 p_m ^[7]。而自适应遗传算法则可随适应度自动改变变异概率 p_m 和交叉概率 p_c 值。同时,通过自适应遗传算法得到的值能够提供对应某个解的最佳参数值,从而保证了遗传算法的收敛性^[8]。

自适应遗传算法中,交叉概率 p_c 和变异概率 p_m

按以下公式进行自适应调整:

$$p_c = \frac{k_1 (f_{\max} - f')}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, f' \geq f_{\text{avg}} \quad (2)$$

$$p_c = \frac{k_2 f'}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, f' < f_{\text{avg}}$$

$$p_m = \frac{k_3 (f_{\max} - f)}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, f \geq f_{\text{avg}} \quad (3)$$

$$p_m = \frac{k_4 f}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, f < f_{\text{avg}}$$

式中: f' —要交叉的两个个体中较大的适应度值; f_{\max} —群体中最大的适应度值; f —要变异个体的适应度值; f_{avg} —每代群体的平均适应度值; $k_1, k_2, k_3, k_4 \in (0, 1)$ 。

若令 $k = k_1 = k_2, k' = k_3 = k_4$,可以发现当适应度值 f 增大时,交叉概率 p_c 和变异概率 p_m 却在减小;而当 f 增大到等于最大适应度值时, p_c 和 p_m 两者均为零。该方法虽然对群体进化后期是有利的,但对进化前期是不利的。因此,还需做进一步改进,如此可使交叉概率与变异概率任何时候都不会为零。同时群体中优良个体的两项概率值也得到了提高,遗传算法则不会处于近似停滞状态^[9]。改进公式如下:

$$p_c = p_{c1} - \frac{(p_{c1} - p_{c2})(f' - f_{\text{avg}})}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, f' \geq f_{\text{avg}} \quad (4)$$

$$p_{c1}, f' < f_{\text{avg}}$$

$$p_m = p_{m1} - \frac{(p_{m1} - p_{m2})(f_{\max} - f)}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}, f \geq f_{\text{avg}} \quad (5)$$

$$p_{m1}, f < f_{\text{avg}}$$

一般来说变异概率的选取是最困难的,过大过小都不好;经反复计算式(4,5)中交叉概率取值为 $p_{c1} = 0.9, p_{c2} = 0.6$,变异概率的取值为 $p_{m1} = 0.1, p_{m2} = 0.001$ 时适应度才最好。

2.2 改进的遗传算法PID控制容积补偿系统设计

容积补偿控制框图如图2所示。

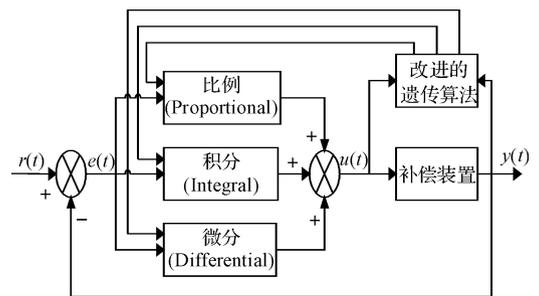


图2 容积补偿控制框图

$r(t)$ —气缸活塞杆所需进给位移量, $e(t)$ —给定位移量与系统实际输出位移量差值, $y(t)$ —位移传感器检测到的位移量, $e(t) = r(t) - y(t), u(t)$ —PID控制输出信号

由图2可知,采用遗传算法PID控制的容积补偿,其调节就是按偏差的比例、积分及微分进行控制,是连

续系统中技术成熟、应用最为广泛的一种调节器^[10]。

PID 控制算法的模拟表达式为：

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \quad (6)$$

式中： K_p —PID 控制器的比例增益常数， T_I —积分时间常数， T_D —微分时间常数。

在容积补偿控制系统中包含了积分环节，因此须采用增量式 PID 控制，其算法表达式为：

$$\Delta u(k) = a_0 e(k) - a_1 e(k-1) + a_2 e(k-2) \quad (7)$$

其中： $a_1 = K_p(1 + 2T_D/T)$ ， $a_2 = K_p T_D/T$ ， $a_0 = K_p(1 + T/T_I + T_D/T)$ 。

改进的遗传算法 PID 控制流程为：系统首先通过改进的遗传算法获得相应的 PID 控制参数值，进一步计算出 a_0, a_1, a_2 ；其次采样系统实际输出位移值，计算出与其设定值偏差 $e(t)$ ；再次根据式(7)得出控制增量 $\Delta u(k)$ ，得出这一时刻的 PID 控制输出 $u(k)$ ， $u(k) = \Delta u(k) + u(k-1)$ 。

经研究分析，改进的遗传算法 PID 控制效果很好，调节时间短，超调量不大，而且能很快使系统达到稳定状态。同时可得到更趋向于直线的位移曲线，进而得到精度较高的系统泄漏率。

3 实验分析

检测系统无泄漏，笔者设定系统检测压力为 0.3 MPa，泄漏率分别为：0.610 ml/min、0.799 ml/min、0.996 ml/min，差压上限为 ± 1 Pa，检测时间为 120 s 的条件下，分别采用普通 PID 控制容积补偿和改进的遗传算法 PID 控制容积补偿两种检测方法对容积大小为 1 170 ml 的检测系统进行实验对比、分析。最后获得的相应曲线如图(3~8)所示。

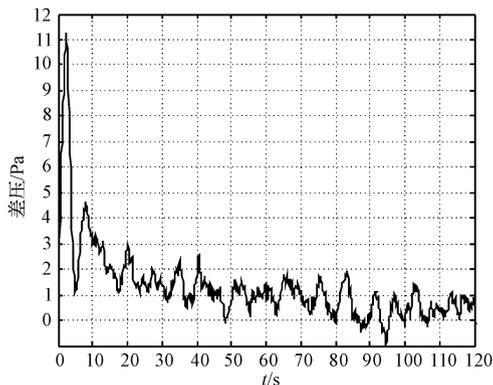


图 3 泄漏率为:0.610 ml/min 时普通 PID 控制检测

根据将普通 PID 控制容积补偿法作为系统控制算法获得的实验曲线如图(3~5)所示，本研究对曲线数据进行分析，结果如表 1 所示。

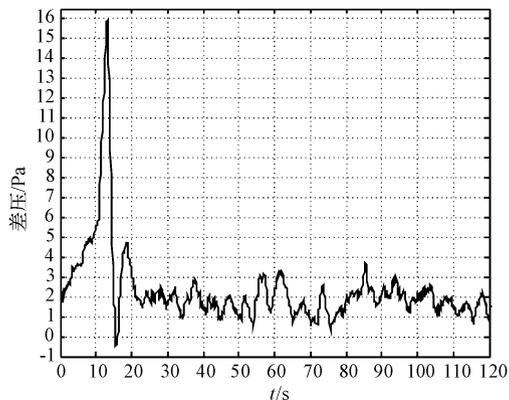


图 4 泄漏率为:0.799 ml/min 普通 PID 控制检测

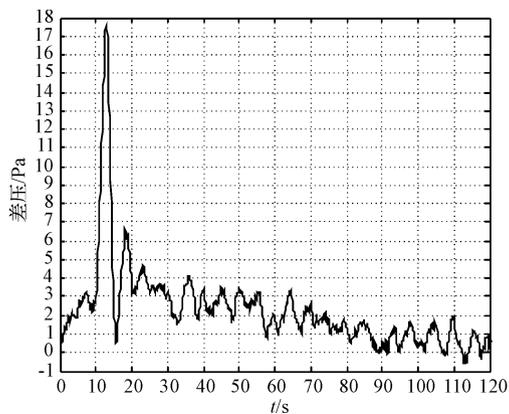


图 5 泄漏率为:0.996 ml/min 时普通 PID 控制检测

表 1 普通 PID 控制容积补偿泄漏检测实验结果参数表

设定泄漏率 /(ml · min ⁻¹)	实测泄漏率 /(ml · min ⁻¹)	调节时间 /s	相对误差 /(%)
0.610	0.628	110	2.95
0.799	0.828	>120	3.63
0.996	1.008	110	1.20

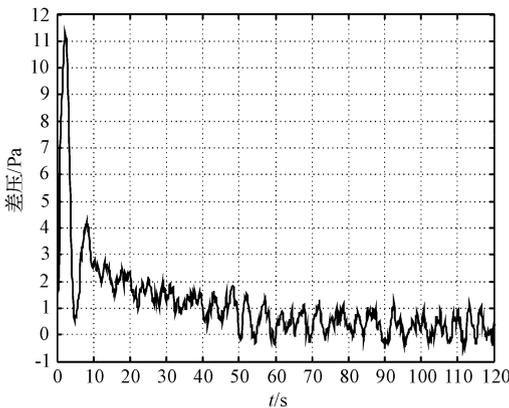


图 6 泄漏率为:0.610 ml/min 时改进的遗传算法 PID 控制容积补偿泄漏检测

根据将改进的遗传 PID 控制容积补偿法作为系统控制算法获得的实验曲线如图(6~8)所示，本研究对

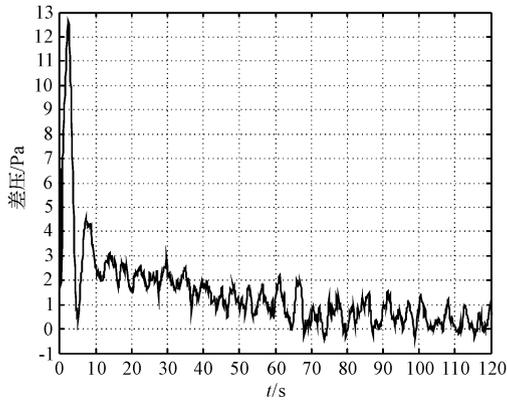


图7 泄漏率为:0.799 ml/min时改进的遗传算法PID控制容积补偿泄漏检测

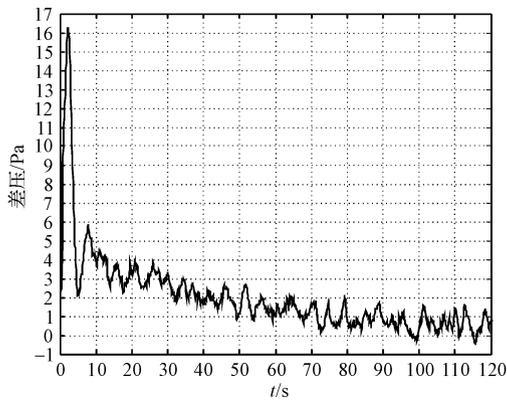


图8 泄漏率为:0.996 ml/min时改进的遗传算法PID控制容积补偿泄漏检测

曲线数据进行分析,结果如表2所示。

表2 改进的遗传PID控制容积补偿泄漏检测实验结果参数表

设定泄漏率 /(ml·min ⁻¹)	实测泄漏率 /(ml·min ⁻¹)	调节时间/s	相对误差 /(%)
0.610	0.628	55	2.95
0.799	0.785	70	1.75
0.996	1.004	80	4.42

对比表1、表2可以看出,改进的遗传PID控制在实测泄漏率方面与普通PID控制相近;而调节时间要比普通PID控制缩短很多。普通PID控制调节时间一般都在120s左右甚至更长,而改进的遗传PID控制调节时间一般在60s左右甚至更短。实验结果表明,改

进的遗传PID控制在保证了检测精度的同时,大大缩短了调节时间,提高了系统检测效率。

4 结束语

针对仅能适用于抽样检测或小批量检测的容积补偿PID控制方法,本研究在其基础上进行了改进,提出了改进的遗传PID控制容积补偿法,最后以PID控制容积补偿法和改进的遗传PID控制容积补偿法作为控制算法进行了实验分析研究。分析实验结果表明,改进的遗传PID控制方法缩短了检测时间,大大提高了泄漏检测效率,为企业实现大批量检测提供了有力的支撑。

参考文献(References):

- [1] 纪春华,彭光正,葛楠. 流量式泄漏检测仪的设计与实验研究[J]. 液压与气动,2009(9):73-76.
- [2] 熊四昌,陈沙,黄林. 基于模糊PID控制的气体泄漏检测系统的容积补偿[J]. 机电工程,2012,29(12):38-42.
- [3] 洪孝鹏. 基于压力补偿的恒压式检漏仪及检测效率的研究[D]. 杭州:浙江工业大学机械工程学院,2009.
- [4] 吴孝俭,闫荣鑫. 泄漏检测[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [5] 黎启柏,卢广权. 气体泄漏检测方法及其工程应用[J]. 机床与液压,2005,14(11):130-132.
- [6] 石彦华. 基于改进遗传算法的PID参数整定研究[J]. 科技风,2012(2):42-43.
- [7] LEHMANN, MARTIN. Method for leak testing and leak testing apparatus[P]. US: 7260981,2007-8-28.
- [8] 陈倩,杨耀权. 基于遗传算法的PID控制器参数优化方法研究[J]. 电力科学与工程,2011(11):53-57.
- [9] HANG C C, CAO L. Improvement of transient response by means of variable set point weighting[J]. *Industrial Electronics*,1996,43(4):477-484.
- [10] 尹宏鹏,柴毅. 基于蚁群算法的PID控制参数优化[J]. 计算机工程与应用,2007,43(17):4-7.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

熊四昌,高玉科,钱冰,等. 基于容积补偿的气体泄漏检测遗传PID控制研究[J]. 机电工程,2015,32(3):348-351.

XIONG Si-chang, GAO Yu-ke, QIAN Bing, et al. Gas leak detection based on volume compensation genetic PID control[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2015,32(3):348-351.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>