

基于插值法的计量泵流量控制算法研究

邓鸿英, 张生昌, 牟介刚

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310032)

摘要:针对目前国产计量泵实际流量显示不直观、计量精度低等问题,分别用分段插值、拉格朗日插值、牛顿插值、三次样条插值 4 种算法,对不同压力下多种型号的计量泵实际流量和频率之间的关系进行了理论研究,并用线性回归分析法对所得计算结果进行了分析。分析结果表明,分段插值算法所得标准误差最小,残差图中的离散性最明显,置信区间最小,更真实的反映了实际流量和频率的关系,可大大提高计量泵的计量精度,适合作为计量泵控制器流量控制算法。

关键词:计量泵;流量;插值;控制算法

中图分类号:TH814;TP274

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)07-0116-03

Research on flux control arithmetic applied on meter-pump based on interpolation arithmetic

DENG Hong-ying, ZHANG Sheng-chang, MU Jie-gang

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract: Because almost all the domestic meter-pump flowmeters are nonvisual and measuring accuracy is lower, the theory research about the relation between different meter-pump actual flux and frequency under different pressure was studied by Piecewise polynomial interpolation, Lagrange interpolation, Newton interpolation and Cubic spline interpolation arithmetic, and the results were analyzed by linear regression analysis. The research indicates that the standard deviaton of Piecewise polynomial interpolation arithmetic is minimal, indicator of divergence is the clearest, confidence interval is the shortest, and it can describe the relation between actual flux and frequency factually and improve measuring accuracy evidently, so it is suitable to be used for flux control arithmetic of meter-pump controller.

Key words: meter-pump; flux; interpolation; control arithmetic

0 引 言

计量泵通过改变冲程长度和频率实现流量的计量和控制^[1]。随着工艺要求和生活质量的提高,对计量泵的计量精度、自动化程度、操作环境、适用范围等都提出了越来越高的要求,频率调节也随之成为目前计量泵控制器流量计量和控制的重要方式^[2]。如何确定合适的控制算法,真实的反映频率和实际流量的关系,是决定计量泵计量精度的关键问题。

本研究主要探讨基于插值法的计量泵流量控制算法研究。

1 频率调节原理

以柱塞式计量泵为例,其平均流量为:

$$q_v = \frac{iFSn\eta_v}{60}$$

$$f = pn(1-s)/120$$

式中 $i(1,2,3,4)$ —单作用泵、双作用泵、三作用泵和四作用泵; F —活塞面积; S —活塞行程; η_v —泵的容积效率; f —变频器频率; n —电机转速; p —电机级数; s —转差值。

上式表示,在不考虑压力、介质粘度等因素情况下,柱塞泵的平均流量 q_v 理论上与变频器频率 f 成正比,因而选择插值算法对流量和频率之间的实际关系进行研究^[3]。

2 插值算法

常用的插值算法有分段插值、拉格朗日插值、牛顿

插值、三次样条插值和埃尔米特插值算法。因为柱塞泵的平均流量理论上与变频器频率成正比,只要求插值函数与被插值函数在插值节点上的函数值相等,不要求插值多项式的导数值在这些插值节点上也相等,因而本研究选择前4种算法对5种不同型号的泵在不同压力和频率下的25组实际流量数据进行研究,以找出合适的计量泵流量控制算法,为设计的计量泵控制器提供算法理论依据。

鉴于流量和频率理论上的正比关系,变频器采用 V/f 调节控制方式,即变频器频率与其输出电压成正比关系(0~50 Hz 频率线性对应于0~5 V 电压)。因为控制器以变频器输出电压为输入信号,为进一步提高计量精度,插值算法中直接对不同压力下,变频器输出电压和流量关系进行分析研究^[4-6]。4种插值算法分析的一组实际流量数据的计算结果如表1所示。相应的流量-电压关系图如图1所示。

表1 4种插值算法计算结果

电压值/V	流量值/(L/H)				
	原始数据	分段插值	拉格朗日	牛顿插值	三次样条插值
0.5	75.5	75.000	161.700	162.700	75.500
1	153.8	153.800	213.800	153.800	153.800
1.2	184.1	184.360	235.788	183.340	184.506
1.5	229.5	230.200	270.000	230.200	230.200
1.6	244.6	245.660	281.732	245.630	245.231
2	306.5	307.500	330.300	307.500	307.500
2.4	368.7	371.020	381.492	371.029	371.642
2.5	385.9	386.900	394.700	386.900	386.900
2.8	431.8	432.680	435.308	433.409	434.766
3	463.2	463.200	463.200	463.200	480.879
3.2	491.8	492.240	491.748	492.247	563.278
3.4	520.3	521.280	520.952	521.163	454.090
3.5	534.9	535.800	535.800	535.800	525.450
3.6	551.1	551.140	550.812	550.659	555.616
3.8	581.8	581.820	582.036	581.169	586.180
4	612.7	612.500	612.500	612.500	612.500
4.2	642.0	642.460	642.052	643.701	639.855
4.4	671.9	672.420	672.148	673.401	667.324
4.5	687.4	687.400	687.500	687.400	687.400
4.6	702.7	703.060	702.788	700.935	693.956
4.8	734.4	734.380	733.972	728.633	723.758
5.0	765.7	765.700	765.700	765.700	765.700

3 数据分析

常用的数据分析方法有数据描述性分析、线性回归分析、方差分析、组成成分分析和典型相关分析、判别分析、聚类分析、Bayes 统计分析等^[7]。由于上述4种插值算法计算结果中流量 q_v 与变频器频率 f 近似具有线性关系,而线性回归分析方法简单、理论完整,因此本研究选用这种数据分析方法对上述4种插值算法结果进行分析,为计量泵频率调节流量控制算法提供理论依据。

3.1 显著性检验

4种插值算法的显著性检验如表2所示。

表2 显著性检验结果

指标	分段插值	拉格朗日插值	牛顿插值	三次样条插值
相关系数	0.999 994	0.998 774	0.999 978	0.999 061
判定系数	0.999 988	0.997 549	0.999 957	0.998 123
调整判定系数	0.952 369	0.949 93	0.952 338	0.950 504
标准误差	1.839 531	26.192 88	3.429 807	22.638 55
样本数	22	22	22	22

可以看出,4种算法中相关系数 R 都大于0.96,回归方程都能很好地拟合,但分段插值算法拟合的最好。

3.2 回归系数表

4种插值算法的回归系数表如表3所示。

表3 回归系数表

指标	分段插值	拉格朗日插值	牛顿插值	三次样条插值
系数	153.249 2	154.815 6	153.155 5	152.959 6
标准误差	0.117 61	1.674 632	0.219 283	1.447 388
检验统计量	1 303.032	92.447 52	698.436 3	105.679 7
概率值	5.07E-53	6.68E-29	2.47E-47	4.05E-30
下限95%	153.004 7	151.333	152.699 5	49.949 5
上限95%	153.493 8	158.298 2	153.611 6	155.969 6

在分段插值算法中,置信区间为(153.004 7, 153.493 8);在拉格朗日插值算法中,置信区间为(151.333,158.298 2);在牛顿插值算法中,置信区间为(152.699 5,153.611 6);在三次样条插值算法中,置信区间为(149.949 5,155.969 6)。其中,分段插值算法置信区间最小。

3.3 回归方差分析

4种插值算法的回归方差分析结果如表4所示。

从表4中可以看出,在分段插值算法中,平方和方差(5 745 451)占总方差(5 745 522)的比例远大于残差(71.061 33)所占的比例,这说明回归线形方程拟合的非常好,平均流量与电压值相关系数为0时的概率很低(P 值=9.06E-51)。

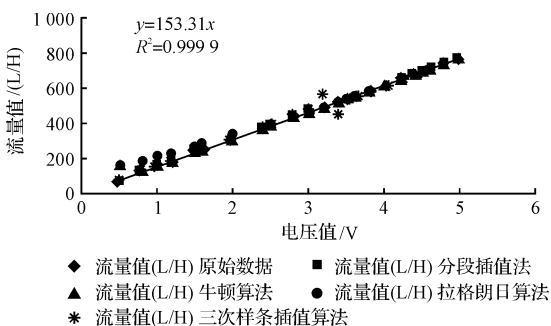


图1 流量-电压关系图

表 4 回归方差分析结果

算法	方差分析	自由度	平方和	均方	F 统计量	P 值
分段插值	回归	1	5 745 451	5 745 451	1 697 892	9.06E-51
	残差	21	71.061 33	3.383 873	—	—
	总计	22	5 745 522	—	—	—
拉格朗日插值	回归	1	5 863 499	5 863 499	8 546.543	8.49E-28
	残差	21	14 407.4	686.066 7	—	—
	总计	22	5 877 906	—	—	—
牛顿插值	回归	1	5 738 428	5 738 428	487 813.2	2.36E-45
	残差	21	247.035 1	11.763 57	—	—
	总计	22	5 738 675	—	—	—
三次样条插值	回归	1	5 723 750	5 723 750	11 168.2	5.88E-29
	残差	21	10 762.59	512.504 2	—	—
	总计	22	5 734 513	—	—	—

在拉格朗日插值算法中,平方和方差(5 863 499) 占总方差(5 877 906)的比例大于残差(14 407.4) 所占的比例,这说明回归线形方程拟合的较好,平均流量与电压值相关系数为 0 时的概率较低(P 值 = 8.49E-28)。

在牛顿插值算法中,平方和方差(5 738 428) 占总方差(5 738 675)的比例大于残差(247.035 1) 所占的比例,这说明回归线形方程拟合的非常好,平均流量与电压值相关系数为 0 时的概率低(P 值 = 2.36E-45)。

在三次样条插值算法中,平方和方差(5 723 750) 占总方差(5 734 513)的比例远大于残差(10 762.59) 所占的比例,这说明回归线形方程拟合的比较好,平均流量与电压值相关系数为 0 时的概率较低(P 值 = 5.88E-29)。

3.4 残差分析

残差图是观察回归方程是否合适的有利工具。4 种插值算法的电压值残差图如图 2 ~ 图 5 所示^[8]。

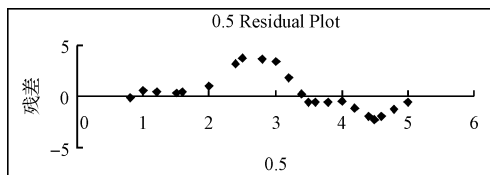


图 2 电压值残差图(分段插值算法)

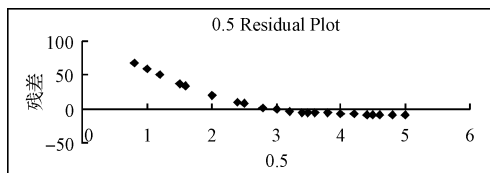


图 3 电压值残差图(拉格朗日插值算法)

图 2、图 4、图 5 表明残差图呈随机分布,说明计量泵流量与电压值之间的关系成线性,分段插值算法、牛顿插值算法、三次样条曲线插值算法能用于计量泵控制器控制算法。图 3 表明残差图不呈随机分布,说明

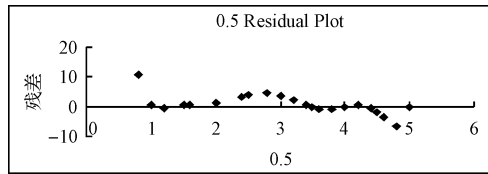


图 4 电压值残差图(牛顿插值算法)

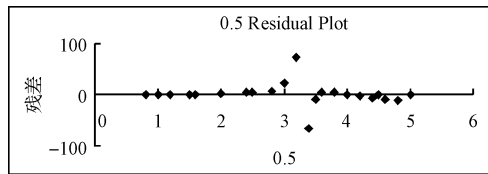


图 5 电压值残差图(三次样条曲线插值)

流量与电压不成线性关系,但计量泵控制器中流量与电压成近似的线性关系,故拉格朗日插值算法不适合用于计量泵控制器控制算法。

4 结束语

从上述回归统计结果可以看出,分段插值算法所得标准误差最小,残差图中的离散性最明显,置信区间最小。从对其他 24 组数据分析的结果中,也得出了同样的结论。研究结果说明分段插值算法计算结果最接近计量泵在不同压力、频率(电压)值下的实际流量值。因此,分段插值算法适合用作计量泵控制器流量控制算法。

参考文献(References):

- [1] 《往复泵设计》编写组. 往复泵设计[M]. 北京:机械工业出版社,1987.
- [2] 邓鸿英,张生昌,牟介刚,等. 基于单片机的计量泵流量控制器[J]. 工业仪表与自动化装置,2009(3):51-53.
- [3] 韩丹夫,吴庆标. 数值计算方法[M]. 杭州:浙江大学出版社,2006.
- [4] 严 鹏. 拉格朗日插值算法在图解法精馏塔设计中的应用[J]. 机床与液压,2008,36(4):131-132.
- [5] 鞠时光,郭伟刚. 实用三次样条插值函数[J]. 小型计算机系统,1992,13(9):20-23.
- [6] WU Xiao-yi, WANG Jing-wen. The research of Newton's interpolation applied to the calculating the theoretical plates of rectifying column[J]. Computers and Applied Chemistry,2009,26(6):770-772.
- [7] 梅长林,范金城. 数据分析方法[M]. 北京:高等教育出版社,2005.
- [8] 马 军. Excel 数据处理与图表应用实例精讲[M]. 北京:科学出版社,2006.