DOI:10.20033/j.1003-7241.(2024)03-0023-04.

闸门控制系统油缸行程偏差修正模型研究*

康志远[1,2]，邓盛名[1,2]，罗红祥[1,2]，赵 彪[1,3]，陈金鑫[1,2]

（1.五凌电力有限公司，湖南 长沙 410000；
2.湖南五凌电力科技有限公司，湖南 长沙 410000；
3.五凌电力有限公司近尾洲水电厂，湖南 衡阳 421000）

摘 要：针对闸门控制系统中油缸行程随开度变化而造成测量偏差的问题，本文通过行程测量装置研究了闸门开度与偏差数据的关系，并根据其非线性关系进行多项式拟合，建立行程偏差修正模型，对闸门的行程实现精确补偿。实验结果表明，经过偏差修正后，闸门启动和停止均正常运行，修正前的最大相对偏差由7.84%减小到修正后的最大相对偏差0.61%，且随着开度的变化，油缸行程偏差无明显波动，提高了闸门安全运行的可靠性。

关键词：闸门控制系统；非线性关系；偏差修正
中图分类号：TP273；TV732 文献标识码：A 文章编号：1003−7241(2024)03−0023−04

Research on Cylinder Stroke Deviation Correction Model of Gate Control System

KANG Zhi-yuan[1,2], DENG Sheng-ming[1,2], LUO Hong-xiang[1,2], ZHAO Biao[1,3], CHEN Jin-xin[1,2]

(1. Wuling Power Corporation Ltd, Changsha 410000 China;
2. Hunan Wuling Electric Power Technology Corporation Ltd, Changsha 410000 China;
3. Jin Wei Zhou Hydroelectric Power Plant of Wu Ling Power Corporation Ltd, Hengyang 421000 China)

Abstract: In this paper, for resolving the problem of the measurement deviation caused by the change of oil cylinder stroke with the opening in the gate control system, the accurate compensation for the gate stroke is realized, which is based on the relationship between the gate opening and the deviation data through the stroke measurement device, the polynomial fitting according to its nonlinear relationship, and the stroke error correction model. The experimental results show that after the deviation correction, the gate starts and stops normally, and the maximum relative deviation is reduced from 7.84% to 0.61%. In addition, the cylinder stroke deviation has no obvious fluctuation with the change of opening, which improves the reliability of safe operation of the gate.

Keywords: gate control system; nonlinear relationship; deviation correction

1 引言

近尾洲水电厂枢纽工程由大坝、发电厂房和船闸三大建筑物组成，水库总库容4.6亿立方米，正常蓄水位66 m，坝顶高程76 m，大坝全长810 m。泄水建筑物为22孔泄洪闸门，采用露顶式结构[1]。泄洪闸门系统是泄洪总建筑的重要组成部分，用于调节上下游水位和流量，担负防洪排涝、灌溉、发电、水资源调整等重要职能，是水利资源保护和水电安全的重要基础。因此闸门系统的控制关乎生产安全，对电厂的稳定运行有着重要影响。闸门开度是闸门控制系统中的最重要和最常用的参数之一，启闭机液压输送油作用于活塞杆，带动闸门油缸上下运动，通过编码器测量闸门左右油缸行程将其转换为闸门的开度。但部分闸门起升过程中左右油缸行程存在偏差，且超过自动纠偏范围，导致闸门开度测量不准确，启闭机因油缸偏差过大而停止运行，严重影响了闸门系统的安全稳定。

本文采用回归分析模型和最小二乘法，建立油缸行程偏差修正模型，并将模型应用于闸门控制系统中进行测试，从而验证模型对油缸行程误差的良好修正效果。

2 闸门油缸行程测量系统

2.1 测量系统搭建

闸门油缸行程测量系统由两路开度编码器、4通道模拟量采集模块、PLC主处理器、电源模块、触摸屏模块、通信模块组成，能实现左右油缸行程数据同步采集、计算、存储及显示。系统结构示意图如图1所示。

PLC采用施耐德M340系列，该PLC具有处理器速

*基金项目：国家电力投资集团有限公司资助项目(WLKY-C-2021-SD34)
收稿日期：2022-07-05

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

度快、抗干扰强、支持热插拔、安装精巧等优点[2]。模拟量测量模块具有16位高分辨率，支持4−20 mA、0−10 V等多量程通道选择。开度传感器采用上海精浦GWS540绝对值编码器，量程范围为0−12 m，测量误差小，精度能达到2 mm。编码器分别安装在闸门左右两侧油缸的外壁上，距油缸支铰4 m，测量钢丝绳固定端安装在闸门吊座轴的中心线上，钢丝绳随着油缸伸长量的伸缩而变化，通过编码器将油缸的物理行程转换为4−20 mA电流信号，方便PLC采集模块直接采集读取。

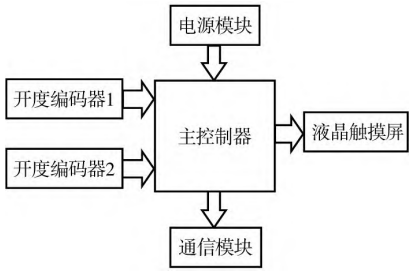

图1 测量系统机构示意图

2.2 油缸行程数据采集

测量系统搭建完成后，针对闸门在不同开度运行状态下采集左右油缸行程数据。当闸门提升时，开度每上升0.5 m，记录此刻左右油缸行程。当闸门达到最大开度后，将闸门下降，开度每下降0.5 m，依次记录左右油缸的行程值。为保持数据的稳定性和准确性，实验中必须等待闸门状态稳定后才开始读取油缸行程值，同时每孔闸门重复测试5次后有取其效数据的平均值。

3 闸门数据建模与修正

3.1 建立修正模型

由于闸门启闭门过程中左右油缸行程不一致，导致偏差过大，超出自动纠偏范围（纠偏规则：左右油缸偏差≥4.5 mm时，开始纠偏；左右油缸偏差≤3 mm时，停止纠偏）。且随着开度的增加，偏差范围也逐渐增大，行程随开度变化呈非线性关系[3−4]，简单地增加或者减少某一侧行程无法满足偏差修正要求，因此采用线性和非线性相结合的方式进行修正补偿[5]，使左右油缸行程满足纠偏范围。根据采集的闸门油缸行程偏差与开度的关系，利用二元回归分析法建立模型方程，公式如下：

$$y = k_1 * x^2 + k_2 * x + k_3 \tag{1}$$

式中，k_1，k_2，k_3为常系数，y为油缸行程偏差，x为闸门开度，通过计算公式中各项常系数，得到闸门偏差与开度的模型关系。k_1，k_2，k_3可通过最小二乘法原理[6−8]寻找最优的二次拟合方程。

本文数据模型通过MatLab软件中polyfit函数进行最小二乘法拟合。polyfit函数表达式如下：

$$P = polyfit(x, y, n) \tag{2}$$

式中，n为拟合多项式次数，因此n设置为2，P表示多项式拟合的系数，系数从高次到低次排列[9]。将闸门油缸误差数据导入函数中得到闸门上升和下降过程中k_1，k_2，k_3的系数值。通过参数可以计算闸门开度变化时对应的油缸变化量，将变化量进行补偿修正后送入闸门控制系统中，从而消除左右油缸偏差。

3.2 偏差修正

将上述采用二次回归分析法得到的修正模型应用到闸门油缸行程测量系统中，通过该系统对模型进行试验验证。试验中通过PLC编程建立偏差数据计算模型，根据闸门开度对采集数据进行分段修正，并采用线性补偿和非线性补偿相结合的方式提升修正的精确度。系统修正流程图如图2所示。

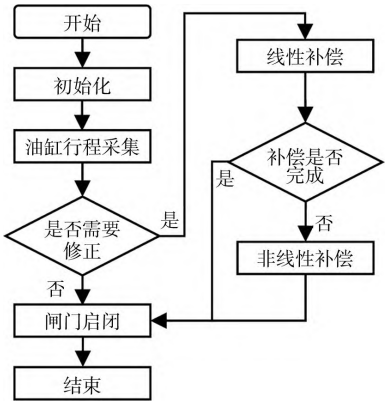

图2 数据修正流程图

4 试验结果与分析

试验中以8号闸门测试为例，由于8号闸门在运行中右油缸速度大于左油缸速度，因此存在右行程大于左行程现象，且偏差随开度程非线性变化，从而导致右测闸门与墙面间隙越来越大，同时左侧闸门与挡水墙面间隔越来越小，最终因闸门触及墙体而卡塞停止。将8号闸门采集偏差数据导入polyfit函数中，得到闸门上升中系数k_1=0.115 7，k_2=2.184 3，k_3=1.934 9。下降过程中系数k_1=0.040 8，k_2=2.635 2，k_3=10.129，根据参数建立二次拟合模型方程，得到闸门上升中开度与偏差数据的输入输出曲线拟合模型方程为：

$$y = 0.1157 * x^2 + 2.1843 * x + 1.9349 \tag{3}$$

闸门下降中开度与偏差数据的输入输出曲线拟合模型方程为：

$$y = 0.0408 * x^2 + 2.6352 * x + 10.129 \tag{4}$$

将闸门上升时曲线拟合模型方程式(3)和方程式(4)写入PLC程序代码中，对代码进行编译后执行。当闸门开度输入时，PLC修正程序根据开度对左油缸行程进行

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

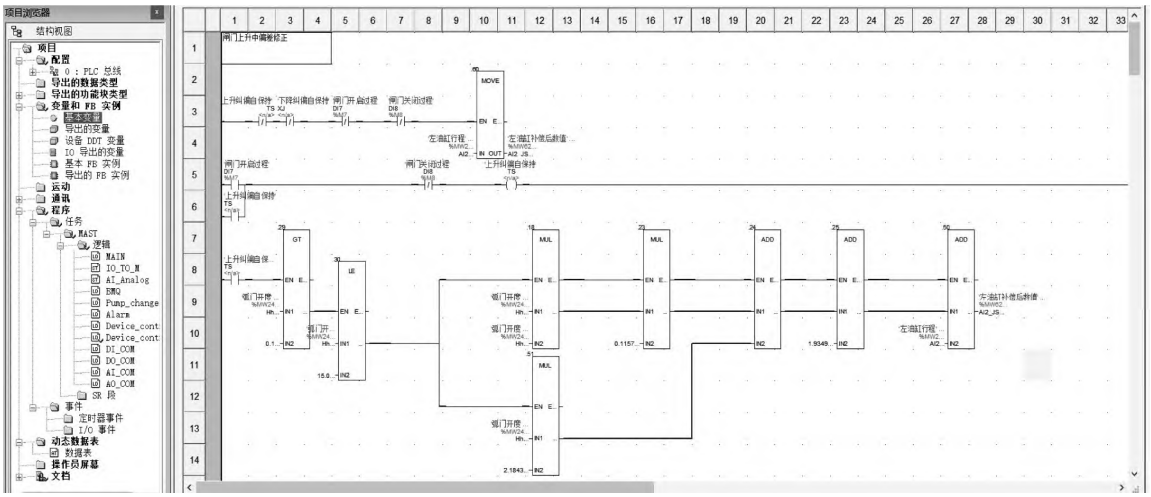

图3 PLC中左油缸闸门偏差修正模型方程

自动补偿，使左右油缸行程保持在自动纠偏范围内，实现闸门自动上升，闸门下降过程中补偿机理同闸门上升一致。PLC中左油缸闸门偏差修正模型方程如图3所示。

表1 8号闸门上升中行程修正

开度/m	左油缸行程/mm(平均值)	右油缸行程/mm(平均值)	左右行程偏差/mm	补偿值/mm	补偿后行程偏差/mm
0.100	23.50	25.50	2.000	2.154	-0.154
0.500	119.00	122.00	3.000	3.056	-0.056
1.000	238.00	242.00	4.000	4.235	-0.235
1.500	356.00	361.00	5.000	5.472	-0.472
2.000	475.00	481.00	6.000	6.766	-0.766
2.500	591.00	600.00	9.000	8.119	0.881
3.000	710.00	720.00	10.000	9.529	0.471
3.500	829.00	839.50	10.500	10.997	-0.497
4.000	950.00	964.00	14.000	12.523	1.477
4.500	1 071.00	1 085.00	14.000	14.107	-0.107
5.000	1 195.00	1 211.00	16.000	15.749	0.251
5.500	1 321.00	1 338.00	17.000	17.448	-0.448
6.000	1 450.00	1 470.00	20.000	19.206	0.794
6.500	1 580.00	1 601.00	21.000	21.021	-0.021
7.000	1 715.00	1 739.00	24.000	22.894	1.106
7.500	1 850.00	1 875.00	25.000	24.825	0.175
8.000	1 990.00	2 017.00	27.000	26.814	0.186
8.500	2 133.00	2 161.00	28.000	28.861	-0.861
9.000	2 280.00	2 310.00	30.000	30.965	-0.965
9.500	2 431.00	2 462.00	31.000	33.128	-2.128
10.000	2 590.00	2 625.00	35.000	35.348	-0.348
10.500	2 747.00	2 784.00	37.000	37.626	-0.626
11.000	2 913.00	2 953.00	40.000	39.962	0.038
11.500	3 084.00	3 127.00	43.000	42.356	0.644
12.000	3 262.00	3 307.00	45.000	44.807	0.193
12.500	3 444.00	3 492.00	48.000	47.317	0.683
13.000	3 634.00	3 685.00	51.000	49.884	1.116
13.500	3 830.00	3 883.00	53.000	52.509	0.491
14.000	4 035.00	4 090.00	55.000	55.192	-0.192
14.500	4 246.00	4 304.00	58.000	57.933	0.067
15.000	4 470.00	4 530.00	60.000	60.732	-0.732

表2 8号闸门下降中行程修正

开度/m	左油缸行程/mm(平均值)	右油缸行程/mm(平均值)	左右行程偏差/mm	补偿值/mm	补偿后行程偏差/mm
15.00	4 473.00	4 534.00	61.00	58.837	-2.163
14.50	4 249.00	4 307.00	58.00	56.918	-1.082
14.00	4 042.00	4 097.50	55.50	55.019	-0.481
13.50	3 837.00	3 890.00	53.00	53.140	0.140
13.00	3 646.00	3 698.50	52.50	51.282	-1.218
12.50	3 437.00	3 485.00	48.00	49.444	1.444
12.00	3 264.00	3 310.50	46.50	47.627	1.127
11.50	3 089.00	3 134.00	45.00	45.830	0.830
11.00	2 916.00	2 958.00	42.00	44.053	2.053
10.50	2 755.00	2 795.00	40.00	42.297	2.297
10.00	2 594.00	2 632.00	38.00	40.561	2.561
9.50	2 428.00	2 465.00	37.00	38.846	1.846
9.00	2 279.00	2 315.50	36.50	37.151	0.651
8.50	2 136.00	2 171.00	35.00	35.476	0.476
8.00	1 995.00	2 029.50	34.50	33.822	-0.678
7.50	1 844.00	1 878.00	34.00	32.188	-1.812
7.00	1 714.00	1 747.00	33.00	30.575	-2.425
6.50	1 586.00	1 618.00	32.00	28.982	-3.018
6.00	1 457.00	1 487.00	30.00	27.409	-2.591
5.50	1 318.00	1 346.00	28.00	25.857	-2.143
5.00	1 189.00	1 216.00	27.00	24.325	-2.675
4.50	1 075.00	1 097.00	22.00	22.814	0.814
4.00	954.00	974.00	20.00	21.323	1.323
3.50	827.00	845.00	18.00	19.852	1.852
3.00	718.00	735.00	17.00	18.402	1.402
2.50	594.00	610.00	16.00	16.972	0.972
2.00	473.00	488.00	15.00	15.563	0.563
1.50	357.00	371.00	14.00	14.174	0.174
1.00	236.00	249.00	13.00	12.805	-0.195
0.50	118.00	130.00	12.00	11.457	-0.543
0.10	23.00	33.00	10.00	10.393	0.393

将模型导入前和模型导入后测量数据进行对比，并绘制闸门开度与行程偏差修正前和修正后的曲线，以及修正前后闸门间隙对比效果图。修正前后测量数据如表

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1和表2所示，补偿拟合曲线如图4和图5所示，修正前后间隙对比如图6和图7所示。

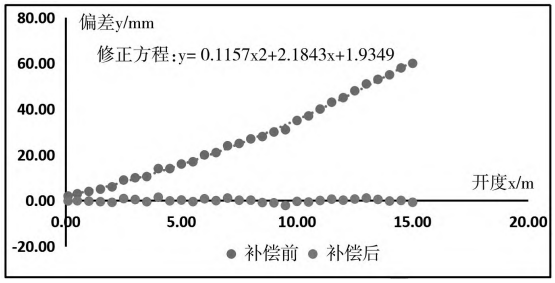

图4 8号闸门上升中行程补偿曲线

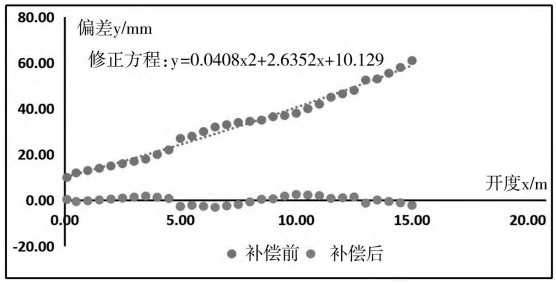

图5 8号闸门下降中行程补偿曲线

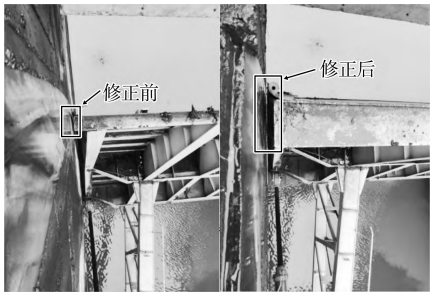

图6 8号闸门左侧修正前后间隙对比

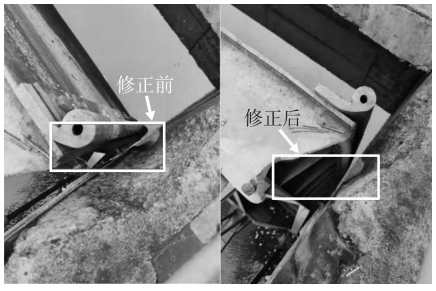

图7 8号闸门右侧修正前后间隙对比

由实验结果可以知，未加入修正模型之前，闸门左右油缸行程最大相对偏差值为7.84%。通过补偿修正之后，偏差明显下降，最大相对偏差为0.61%，油缸行程偏差修正效果明显，满足自动纠偏要求，提高了闸门运行的稳定性。

5 结束语

根据闸门运行过程中油缸行程偏差，搭建了油缸行程数据测量系统。通过偏差数据进行分析处理，建立了闸门开度与油缸行程偏差的关联关系，并构建二次回归修正模型，该模型在8号闸门控制系统中进行测试验证。实验结果表明，通过模型修正后闸门左右油缸行程最大相对偏差由7.84%降低至0.61%，由此说明该模型对闸门油缸行程偏差具有良好的修正效果，为闸门控制系统的安全生产稳定运行提供了有力保障。

参考文献：

[1] 文德合.弧门开度编码器国产化实践与探索[J].大众用电，2015(S2)：108-111.

[2] 马爽，孙晓福，王新宇，万继华.基于Modicon M340系列PLC的控制系统设计[J].科技传播，2014，6(15)：232-224.

[3] 蔡玺，张旭，魏军.基于指数平滑法的光栅信号细分误差修正模型建立及分析[J].自动化技术与应用，2020，39(3)：122-125.

[4] 张健，谢守勇，刘军，陈翀，赵镭.FDR土壤湿度传感器的温度补偿模型研究[J].农机化研究，2018，40(4)：177-182，189.

[5] 康志远，吴定祥，陈浩，曾凯，唐立军.激光测径仪温度测量误差修正的研究[J].测控技术.2017(5)：100-103.

[6] 孙强，张智霖，伍悦滨，等.道路综合管廊输水管道参数辨识研究[J].森林工程，2022，38(6)：130-136.

[7] Liu J，Li R，Chang H.Multi-sensor data fusion based on correlation function and least square[J].Kongzhi yu Juece/Control and Decision，2006，21(6)：714-716，720.

[8] 吴彭江，郑云峰，姚国平，等.基于最小二乘的FGR低氮燃烧自动控制系统[J].自动化技术与应用，2024，43(2)：6-8，25.

[9] 万钧力，李光阳.基于最小二乘法舵机测控参数的修正[J].自动化技术与应用，2014，33(1)：20-22.

作者简介：康志远(1991-)，男，硕士，研究方向：信号检测与控制。

(上接第4页)

[36] Dvir A，Holczer T M，Buttyan L.VeRA-version number and rank authentication in RPL[C]//the Eighth International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems.IEEE，2011：709-714.

[37] Landsmann M，Wahlisch M，Schmidt T.Topology authentication in RPL[C]//the 2013 International Conference on Computer Communications.IEEE，2013：73-74.

[38] Perrey H，Landsmann M，Ugus O.TRAIL：topology authentication in RPL[C]//the 2015 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks.IEEE，2015.

作者简介：张士双(1999-)，女，本科，研究方向：矿物加工。

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net