

一种步进电机控制阀门、阀门控制系统及方法

许俊斌¹, 沈友弟², 黎梓欣²

¹武汉科技大学化学与化工学院, 湖北 武汉

²广东省计量科学研究院, 广东 广州

收稿日期: 2025年9月26日; 录用日期: 2026年1月22日; 发布日期: 2026年1月30日

摘 要

电控阀门现有主流产品为电动球阀和电磁阀, 针对电动球阀和电磁阀存在的不足, 提出了一种步进电机控制阀门、阀门控制系统及方法。考虑了阀门主体、步进电机、传动机构、编码器和驱动器对步进电机控制阀门的影响, 本文通过各部分机体联机联网控制, 设置相应恒定参数, 验证了提出方法的可行性, 然后实现步进电机实现高精度流量控制, 结果表明, 与传统的电机控制阀门相比, 所提出的电机控制阀门间接控制系统具有良好的联机控制和联网能力, 以适应多种工业环境中的复杂要求。

关键词

步进电机, 阀门控制系统, 流量控制, 工业自动化

A Method, Valve and Valve Control System for Advancing Motor

Junbin Xu¹, Youdi Shen², Zixin Li²

¹School of Chemistry and Chemical Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei

²South China National Center of Metrology Guangdong Institute of Metrology, Guangzhou Guangdong

Received: September 26, 2025; accepted: January 22, 2026; published: January 30, 2026

Abstract

The current mainstream electrically controlled valves are electric ball valves and solenoid valves. To address the significant limitations of these conventional valves, we propose a step motor-controlled valve system with integrated control mechanisms and methodologies. This innovative approach considers the interdependencies among valve components, stepper motors, transmission mechanisms, encoders, and drivers. Through networked control integration across all system elements and the implementation of standardized parameters, we validated the feasibility of this

文章引用: 许俊斌, 沈友弟, 黎梓欣. 一种步进电机控制阀门、阀门控制系统及方法[J]. 人工智能与机器人研究, 2026, 15(1): 379-385. DOI: 10.12677/airr.2026.151036

control method. The proposed system enables high-precision flow regulation via stepper motor operation. Experimental results demonstrate that compared to traditional motor-controlled valves, our step motor control valve system exhibits superior network connectivity and integrated control capabilities, effectively meeting the complex requirements of diverse industrial environments.

Keywords

Stepper Motors, Valve Control Systems, Flow Control, Industrial Automation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

电控阀门广泛应用于石油、化工、水处理等行业，用于管道内液体/气体的流量调节与开关控制。常见的电动球阀在高压管道中应用时，因其体积和重量过大，限制了其在空间有限的场合使用。此外，电动球阀的控制精度较低，难以实现流量的精准控制和联机操作[1][2]。而电磁阀结构简单，且仅有开关两档，难以满足流量调节的要求，通常仅适用于一些对精度要求不高的场合[3][4]。现代工业对阀门轻量化、精准控制、联机控制的需求日益增加，现有产品无法满足。因此针对传统电机控制阀门的不足，本文提出一种步进电机控制阀门、配套控制系统及控制方法，该方法的核心在于采用步进电机作为驱动机构。步进电机是一种将电脉冲信号转换为精确角位移或线位移的执行机构，其工作原理基于电磁感应定律，与传统控制方式相比，步进电机每接收一个脉冲信号就精确地转动一个固定角度，这种“步进”式运动特性使其能够实现精确的阀门开度控制。而且步进电机控制阀门通常采用一体化设计，将电机、驱动器和控制器集成于一体，显著减小了体积，简化了安装和维护流程[5][6]。此外，步进电机控制阀门在能耗方面也具备优势。电磁阀需要持续通电以保持开启状态，而步进电机在到达指定位置后即可断电，依靠其保持转矩维持位置，从而可以有效降低能耗[7][8]。

2. 实验部分

2.1. 核心部件选型

步进电机控制阀门系统，包括：阀门主体、步进电机、传动机构、编码器、驱动器。如图1所示步进电机通过减速机固定在阀门主体上方的步进电机安装座上，电机输出轴经联轴器连接减速机输入轴，减速机输出轴连接阀门操作机构；编码器套设于电机远离阀门主体一端，与电机输出轴同步转动。阀门主体通常采用常规的高平台球阀，含常压型和防爆型球阀、两通型和三通型，支持各种口径，其转动方式是步进电机通过接收开度调节指令，然后输出控制指令于驱动器控制带动阀门主体转动。步进电机可以采用常规的42步进电机、57步进电机、86步进电机等，作为驱动球阀开关动作的动力部分，阀门主体及步进电机的具体类型可根据实际需求依据阀门尺寸、负载需求确定。传动机构的输入端与步进电机5的输出轴连接，传动机构的输出端连接阀门主体的操作机构。包含减速机(调整扭矩和/或控制阀门主体开度的转动精度)和联轴器(步进电机的输出轴和减速机的输入轴之间，连接步进电机输出轴与减速器输入轴)。编码器则采用绝对值编码器(断电-通电后，能准确记录阀门主体的开度)，编码器套设于步进电机远离阀门主体一端，与步进电机的输出轴连接，保持同步，编码器随着步进电机的输出轴的旋转而旋转，进而统计步进电机输出轴的转动角度。上位机有PLC(可编程逻辑控制器)、个人计算机、工业控制计算

机、云服务器或移动终端的任意一种，需要与驱动器通讯连接的一致的波特率与通讯协议，即可给驱动器发出控制命令，可以分别控制编码器与驱动器。而且上位机既能读出编码器的反馈数据，也能通过通讯地址的控制指令控制对应的驱动器，从而将这两种部件进行整合。

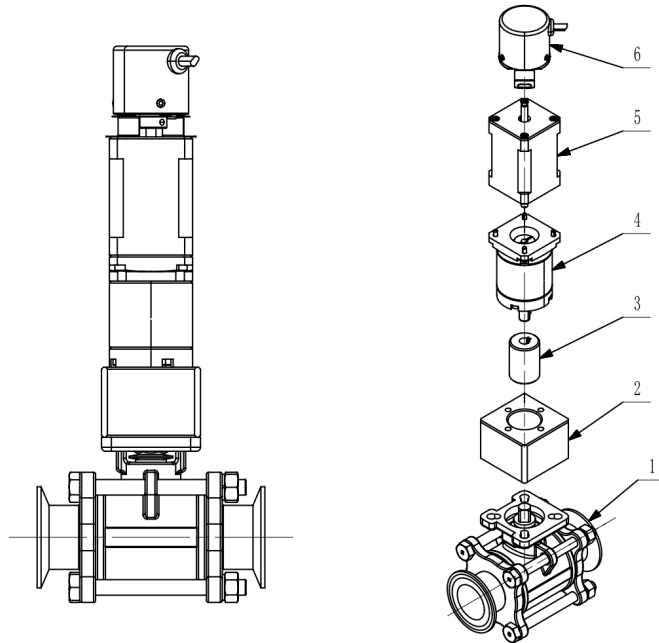


Figure 1. Schematic diagram of stepper motor control valve
图 1. 步进电机控制阀门的结构示意图

2.2. 参数设置与调试

驱动器参数配置如图 2 所示：选择驱动器对应的串口号，设置串口号对应的驱动器、步进电机等参数，通过上位机的操作界面显示出对应的驱动器参数，每一个驱动器均有唯一的通讯地址。在使用 RS-485 通讯时，驱动器的站号，即通讯地址需由此参数各自设定为不同值。一般的，站号地址的设定范围为 1~255，默认值为 1，值得注意的是此站号代表本驱动器在通讯网络中的绝对地址，重复设定站号将会导致无法正常通讯。设置核心 PA 参数：PA28 设置为 1，代表驱动器处于内部位置模式；PA51 设置为写入步进电机需运行圈数的整数部分，如+8 表示步进电机正转 8 圈，-4 表示步进电机需要反转 4 圈；PA52 设置为写入步进电机需运行圈数的小数部分，如 23 表示步进电机需要多转 0.23 圈，无需转小数圈可设置为 0；PA53 设置为写入步进电机运转的速度值；PA50 设置为写入控制步进电机启动或停止的数值，如 1 表示步进电机启动运转；转动完成，PA50 需写入 0，停止运转；PA19 设置为写入步进电机停转时，锁轴电流的大小，一般可设置为较小的值：1，以减少发热量，启动功耗最大值 DC24V/48W；转动功耗最大值 DC24V/24W。

编码器参数设置如图 3 所示：通过上位机设置串口及波特率，实现与编码器的通讯，读取反馈数据及设置编码参数，设置编码器的零点作为一个参考点，通常在阀门全关或全开的位置设置，可以使得编码器在断电 - 通电后，能准确记录阀门主体的开度。或者通过上位机软件或手动操作，将编码器的某个预设位置设置为零点，然后根据反馈数据(编码器数值和编码器零点)，计算阀门主体的开度和步进电机的转动角度。阀门从全开状态转动到全关状态(转动角度约 90°)，所用时间约为 50 秒(因电机转动速度可调，



Figure 2. Schematic diagram of the driver settings interface in the valve control system
图 2. 阀门控制系统中驱动器设置界面示意图

这里按照最低转速计算，以确保最大的转动扭矩)。阀门转动过程为线性变化过程，具体转动时间，与实际需要转动角度有关，转动角度越大，所需时间越长。阀门主体的转动角度由驱动器控制步进电机带动减速机控制的，阀门主体的开度由步进电机的转动角度及减速机的减速比决定。其中，定位精度与重复性测试结果见表 1；阀门的主体的转动角度如下式所示：

$$\theta_{\text{阀}} = \theta_{\text{电}} * r_{\text{减}} \tag{1}$$

其中 $\theta_{\text{阀}}$ 为阀门主体转动角度， $\theta_{\text{电}}$ 为步进电机转动角度， $r_{\text{减}}$ 为减速机的减速比。

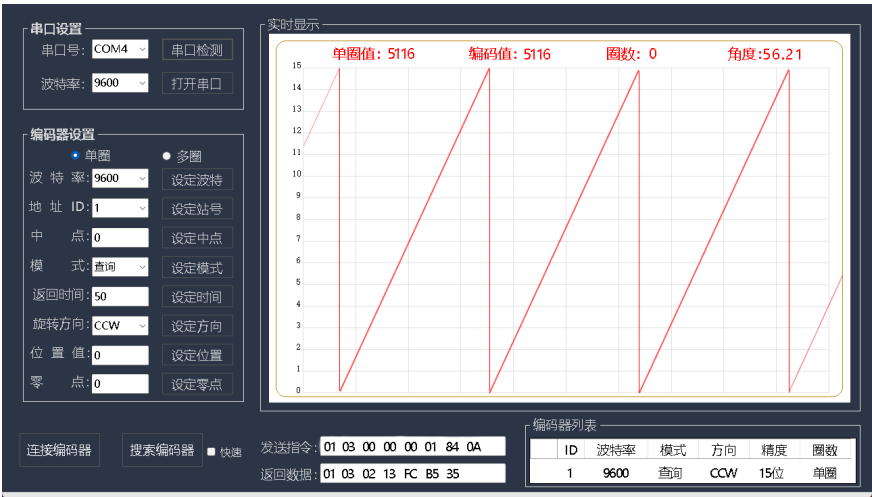


Figure 3. Schematic diagram of encoder settings interface in valve control system
图 3. 阀门控制系统中编码器设置界面示意图

Table 1. Test results of positioning accuracy and repeatability
表 1. 定位精度与重复性测试试验结果

序号	目标角度	实际转角	误差
1	30.00	29.95	-0.05
2	30.00	29.98	-0.02
3	30.00	29.94	-0.06
4	30.00	29.96	-0.04
5	30.00	29.95	-0.05
6	40.00	39.97	-0.03
7	40.00	39.95	-0.05
8	40.00	39.96	-0.04
9	40.00	39.96	-0.04
10	40.00	39.98	-0.02
11	50.00	49.96	-0.04
12	50.00	49.97	-0.03
13	50.00	49.98	-0.02
14	50.00	49.96	-0.04
15	50.00	49.98	-0.02
16	60.00	59.97	-0.03
17	60.00	59.97	-0.03
18	60.00	59.98	-0.02
19	60.00	59.95	-0.05
20	60.00	59.96	-0.04
21	70.00	69.96	-0.04
22	70.00	69.98	-0.02
23	70.00	69.96	-0.04
24	70.00	69.97	-0.03
25	70.00	69.97	-0.03
平均误差值		-0.0352	

阀门主体控制设置如图 4 所示：建立与驱动器、编码器的通讯连接，通过上位机分别控制编码器与驱动器。由上位机接收用户输入的开度调节指令，根据所述开度调节指令对驱动器输出控制指令，驱动器根据控制指令中的旋转方向、旋转角度及旋转精度控制步进电机转动，通过减速机带动阀门主体转动。为便于上位机同时控制多个阀门，可设置多个并联的驱动器或每个驱动器、编码器，而一般驱动器可配置通讯地址范围为 1~255，若有 20 台步进电机控制阀门需要进行控制，阀门控制系统为每台步进电机控制阀门的驱动器、编码器设置唯一的通讯地址。

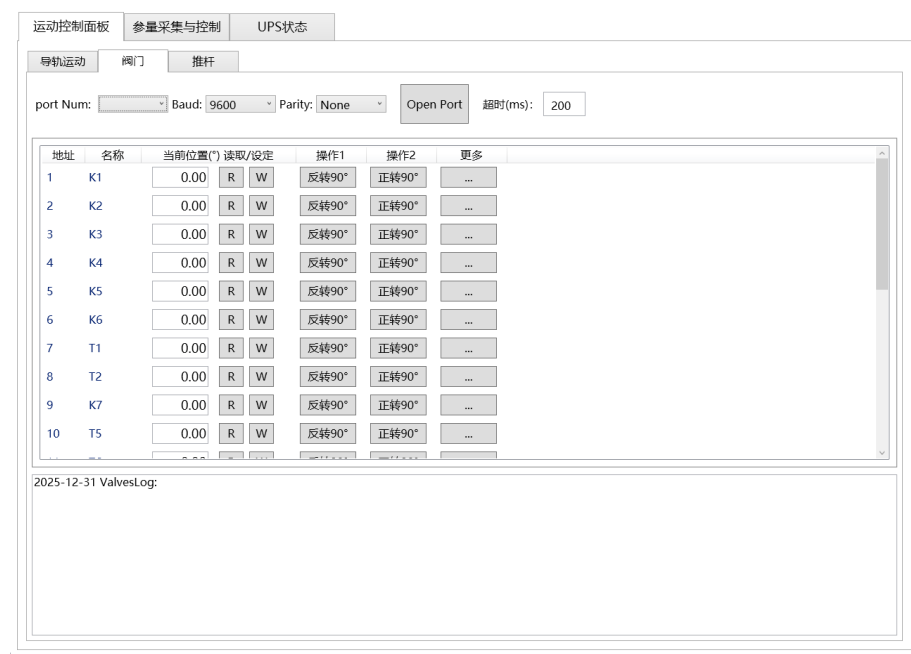


Figure 4. Schematic diagram of the valve body setting interface in the valve control system
图 4. 阀门控制系统中阀门主体设置界面示意图

2.3. 控制流程测试

为了实现阀门的精确控制，本文设计了如下的控制流程(如图 5 所示)，具体包含以下步骤：首先(S1)，系统接收开度调节指令，并据此向驱动器发出控制指令，驱动步进电机带动阀门主体开始转动；继而(S2)，通过编码器实时获取反馈数据(包括编码器数值与零点)，计算出对应的步进电机转动角度，从而确定阀门主体的当前开度；最后(S3)，系统将当前开度与目标开度进行比较，并发出新的控制指令，使驱动器驱动步进电机将阀门精确调整至预设开度。

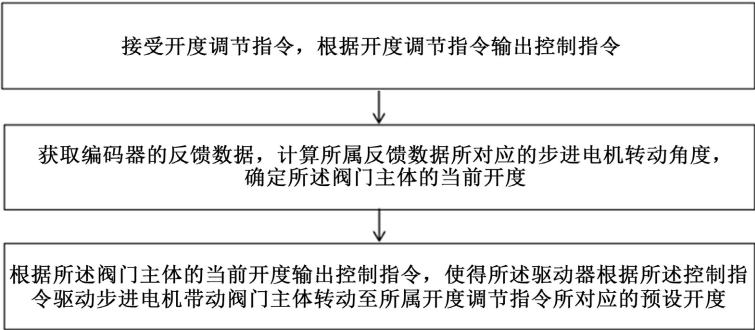


Figure 5. Flowchart of valve control method
图 5. 阀门控制方法的流程示意图

2.4. 算法说明

本系统采用基于位置反馈的闭环比例(P)控制算法，通过实时采集编码器反馈的电机实际位置与目标位置进行比较，计算位置偏差后，将偏差信号乘以比例系数(KP)作为控制量输出至电机驱动器，以驱动电机向消除偏差的方向转动。比例系数 KP 的整定采用试凑法，初始设置较小的 KP 值(如 PA 参数初始

值设为 50), 逐步增大参数并观察系统响应: 若出现超调量过大或震荡现象, 则适当减小 K_P ; 若响应速度过慢、稳态误差偏大, 则增大 K_P , 最终确定 P_A 参数的最优值为 80, 此时系统在保证无明显超调的前提下, 可实现快速的位置跟踪。为进一步分析系统动态特性, 建立电机 - 负载系统的简化数学模型: 将电机视为一阶惯性环节, 其传递函数为 $G(s) = K/(Ts + 1)$, 其中 K 为电机增益, T 为时间常数; 负载部分主要考虑阀门的转动惯量和摩擦力, 简化为阻尼环节。通过对该模型进行频域分析可知, 系统的截止频率约为 0.5 Hz, 相位裕量大于 45° , 满足阀门控制对稳定性和动态响应的基本要求。

3. 结论

综上, 本文成功研发出步进电机控制阀门、配套控制系统及控制方法, 通过“步进电机、减速机、绝对值编码器”的闭环控制体系, 解决了传统电动球阀体积大、精度低, 以及电磁阀无法调节流量的核心问题。该技术相比之前有如下几大优势: 拥有更小的体积从而适配空间受限场景; 通过优化了阀门控制精确性和响应速度, 从而实现更高精度控制(最小转动角度)满足流量精准调节, 还显著提升可靠性和稳定性; 多阀门联机、联网能力适配复杂工业需求。该技术具备较高的商业化价值, 可广泛应用于石油、化工、水处理等行业, 后续可扩展对不同类型阀门的适配性, 不断优化极端环境下的稳定性。

基金项目

广东省市场监督管理局科技项目(2023CJ01)。

参考文献

- [1] 傅田辉, 电动球阀及其致动器[Z]. 浙江恒森实业集团有限公司, 2021-12-12.
- [2] 张军工, 小功率电动球阀执行器的研发[Z]. 宁夏银星吴忠仪表流体控制股份有限公司, 2020-07-25.
- [3] 葛华军, 项伟峰. 电磁阀响应时间的影响因素及优化方法探讨[C]//广西大学广西县域经济发展研究院. 2025 年第三届工程技术数智赋能县域经济城乡融合发展学术交流会议论文集. 宁波: 宁波宝林安全科技有限公司, 2025: 300-302.
- [4] 史艳博, 林胜辉, 陈大杰, 等. 高频电磁阀单电源驱动电路设计[J]. 机电信息, 2024(12): 11-13, 17.
- [5] 燕婧婧. 步进电机控制系统的设计及应用探析[J]. 数字技术与应用, 2024, 42(7): 44-46.
- [6] 战家治. 基于反步控制技术的步进电机高精度闭环控制系统研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2023.
- [7] 林滔. 基于可编程控制器的步进电机闭环智能控制系统[J]. 自动化与仪表, 2022, 37(4): 36-39.
- [8] 闫彩霞, 陈松利. 多步进电机调速系统及人机界面设计[J]. 现代电子技术, 2022, 45(8): 111-114.