

【引用格式】穆连运, 成永超. 新型鱼雷发射系统前盖柔性开闭仿真设计[J]. 数字海洋与水下攻防, 2022, 5(5): 459-462.

新型鱼雷发射系统前盖柔性开闭仿真设计

穆连运¹, 成永超²

(1. 海军潜艇学院 战略导弹与水中兵器系, 山东 青岛 266199;
2. 海军潜艇学院 学员二大队, 山东 青岛 266199)

摘要 针对传统鱼雷发射系统前盖开启、关闭瞬时撞击噪声大的问题, 设计了基于高速开关阀的改进型前盖开闭装置速度控制液压回路, 通过 AMESim 和 Simulink 软件建立了液压回路的计算机仿真模型, 并对其进行了联合仿真。由仿真结果可以看出: 与传统前盖开闭装置相比, 改进型装置能够有效降低前盖开闭瞬间的速度, 从而降低撞击噪声。

关键词 高速开关阀; 速度控制; 前盖开闭装置; AMESim-Simulink 联合仿真

中图分类号 TJ63 **文献标识码** A **文章编号** 2096-5753(2022)05-0459-04

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2022.05.012

Simulation Design of Front Cover Flexible Opening and Closing Device in New Torpedo Launching System

MU Lianyun¹, CHENG Yongchao²

(1. Department of Strategic Missile and Underwater Weapon, PLA Naval Submarine Academy, Qingdao 266199, China; 2. 2nd Brigade of Trainees, PLA Naval Submarine Academy, Qingdao 266199, China)

Abstract Aiming at the problem of strong instantaneous impact noise in the opening and closing of the front cover of traditional torpedo launching system, an improved front cover opening and closing device with speed-control hydraulic circuit based on the high-speed on-off valve is designed. The computer simulation model of the hydraulic circuit is established using AMESim and Simulink software, and the co-simulation is carried out. The simulation results show that compared with the traditional front cover opening and closing device, the improved device can effectively reduce the speed at the front cover opening and closing moment, so as to reduce the impact noise.

Key words high speed on-off valve; speed control; front cover opening and closing device; AMESim-Simulink co-simulation

0 引言

潜艇在作战中的最大优势就是其隐蔽性, 因此降低噪声是潜艇设计使用时的重要内容之一。潜艇在发射鱼雷时会因发射装置工作产生一定的噪声, 其中, 鱼雷发射系统前盖因开启、关闭瞬间产生的撞击噪声是其噪声的重要来源, 对保持潜艇隐蔽性

有很大危害。

传统前盖开闭装置液压回路在设计时为了追求前盖开闭的及时性^[1], 忽略了由于前盖运动终端和始端速度过快而与艇体撞击瞬间产生的噪声, 这个撞击噪声是敌声呐探测我方潜艇的重要依据。因此, 如何控制前盖运动终端和始端的速度, 降低开启、关闭瞬间的撞击噪声, 具有一定的研究价值。

本文利用高速开关阀构建了前盖开闭装置速度控制液压回路，通过脉宽调制 (Pluse Width Modulation, PWM) 信号控制原理对液压缸的运动速度进行控制，相对降低行程终端和始端运动速度，从而降低了前盖开启、关闭瞬间的撞击噪声。

1 前盖开闭装置速度控制系统

1.1 高速开关阀结构及工作原理

高速开关阀是一种新兴的数字电液转换控制原件，主要通过脉宽调制 (PWM) 信号进行控制，其最主要的优点是结构简单、可靠性高，同时，它兼有价格低廉、抗污染能力强的特点，在液压系统速度和位置控制中成为一个新的应用热点^[2]。

在本文的液压控制回路设计中采用的是常开二位三通高速开关阀，其结构原理如图 1 所示。

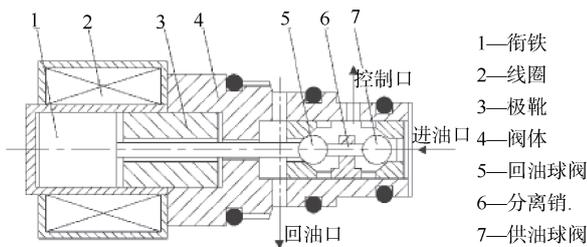


图 1 高速开关阀结构原理图

Fig. 1 Structural diagram of high-speed on-off valve

当电磁衔铁线圈 2 处于低电平时，供油球阀 7 在压力油压差作用下向左运动，通过分离销使回油球阀 5 紧紧压在密封座上，此时进油口与控制口连通，回油口关闭；当电磁衔铁线圈 2 处于高电平时，衔铁 1 产生电磁力向右运动，通过推杆推动回油球阀 5 和供油球阀 7 克服进出油口压力差向右运动，此时进油口关闭，回油口和控制口连通。

1.2 速度控制液压回路设计

为实现高速开关阀对前盖开启、关闭液压缸的速度控制，设计了基于高速开关阀的改进型前盖开闭装置速度控制回路^[3]，如图 2 所示。

图中：1 为动力装置，2 为液压泵，3 为液压油箱，4 为溢流阀，5 为三位四通方向控制阀，6 为常开型二位三通高速开关阀，7 为 PC 控制模块，8 为双杆活塞液压缸，9 为位移传感器，10 为质量

块，模拟前盖及减阻版质量。如图中所示，位移传感器安装在液压缸活塞杆上，用以采集液压缸运动位移，PC 控制模块将位移信息转换成高速开关阀的控制信息，通过对高速开关阀开启关闭时间的控制，从而控制进入液压缸无杆腔的液压油流量，进而控制液压缸活塞杆的运动速度。

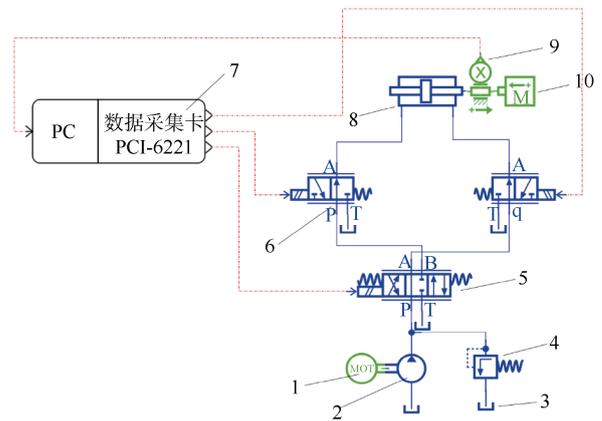


图 2 改进型前盖开闭装置速度控制回路

Fig. 2 Speed control loop of improved front cover opening and closing device

1.3 基于占空比的 PWM 调制信号控制

高速开关阀的开闭是由脉宽调制信号 (PWM) 进行控制，即在一个脉冲周期 T 内，开启时间的宽度 T_{open} 与 T 的比值大小来控制阀门开闭时间，从而调节流过高速开关阀的流量。 T_{open} 与 T 的比值称为占空比，用符号 τ 来表示，由高速开关阀的特性可知，在频率一定的情况下， τ 越大，通过的流量就越大^[4]。在本文的液压控制回路中，采用频率为 50 Hz 的 PWM 调制信号，占空比 τ 是根据活塞位移信号进行设置。

设将前盖完全开启需要的活塞行程为 l ，将活塞行程分为行程终端、始端和中间行程 3 段，其中在前盖行程终端、始端采用低速，即低占空比，在中间行程采用高占空比。设计其 PWM 调制信号占空比函数如下：

$$\tau = \begin{cases} -\frac{0.6}{n_1}x + 0.8 & , 0 \leq x < n_1 \\ 0 & , n_1 \leq x \leq n_2 \\ \frac{0.6}{l-n_2}(x-l) + 0.8 & , n_2 < x < l \end{cases}$$

式中: τ 表示前盖开启、关闭时高速开关阀 PWM 调制信号的占空比; x 表示活塞位移; $x \in [0, n_1) \cup (n_2, l]$ 表示在前盖开启过程中活塞行程始端的控制位置, n_1 表示在活塞行程终端的控制位置。

在本液压控制回路中, 前盖开启时的速度控制阶段为 $x \in [0, n_1) \cup (n_2, l]$, 针对不同的 n_1 、 n_2 的取值进行仿真, 然后获得合理的控制位置。

2 AMESim-Simulink 联合建模与仿真

AMESim 软件中包含一套液压气压标准应用库, 用户可以根据实际液压回路搭建液压系统物理模型, 然后在 Simulink 中建立控制信号模型, 通过在 AMESim 中创建 interface 接口将位移传感器采集的数据信号以 S 函数的形式输入到 Simulink 中, 数据信号经处理后传回 AMESim 中对物理模型进行控制^[5]。

2.1 AMESim 物理模型建立

根据前盖开闭装置液压回路原理图, 在 AMESim 平台上搭建液压系统仿真模型^[6], 如图 3 所示。

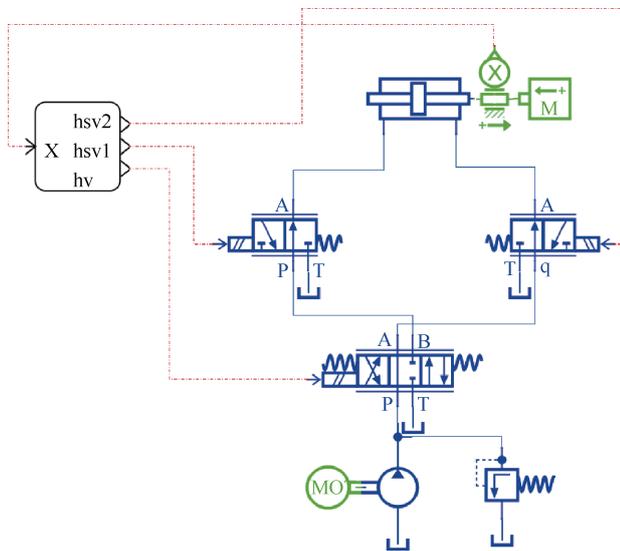


图 3 前盖开闭装置液压系统 AMESim 模型
Fig. 3 AMESim model of hydraulic system of front cover opening and closing device

液压系统中各元部件子模型的功能和作用如表 1 所示。

系统通过 S 函数将位移传感器采集的活塞位移信号传递到 Simulink 中, 经过控制模型进行处理。

表 1 液压系统中各元部件子模型的功能和作用
Table 1 Function and role of each component sub-model in hydraulic system

图标	子模型	功能	作用
	FP04	液压属性模块	定义模型中液体材料特性
	PU001	定量泵模块	向液压系统供油
	PM000	电机模块	带动定量泵转动
	RV010	溢流阀模块	限定系统压力, 保护系统
	TK000	液压油箱模块	模拟油箱
	HSV34	三位四通方向控制阀	控制液压油流向
	HSV23	二位三通高速开关阀	控制液压油流向
	MAS001	质量块模块	模拟液压缸负载
	TFHJ021	双活塞杆液压缸	执行元件
	MECDS1B	位移传感器模块	采集液压杆位移信号
	PWM1	PWM 信号模块	产生 PWM 信号

2.2 Simulink 控制模型建立

在 AMESim 仿真模式下点击运行, 软件会自动调出 Simulink 界面, 在 Simulink 中利用 AMESim 仿真生成的 S 函数, 并在 Simulink 中设置 S-function 模块的名称和相关参数^[7]。

由于 PWM 调制信号占空比 τ 是 0~1 的数字, 因此, 需要将位移传感器信号转换为相应 PWM 调制信号^[8], 其算法模型如图 4。

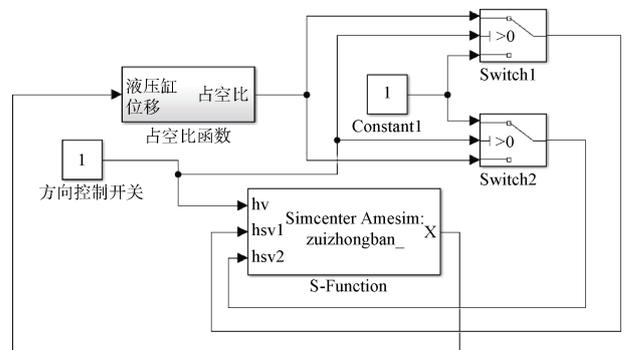


图 4 前盖开闭装置液压系统 Simulink 控制模型
Fig. 4 Simulink control model of hydraulic system of front cover opening and closing device

2.3 仿真结果分析

本文仿真的具体参数设置为：前盖完全开启活塞行程 $l=300\text{ mm}$ ， $n_1=50\text{ mm}$ ， $n_2=250\text{ mm}$ ，其运动速度与位移的仿真结果如图 5、图 6 所示。

通过图 5、图 6 可以看出，液压缸活塞在 9 s 内完全伸出，并在行程始端和终端速度较低，在行程中段速度较高且运动稳定，符合设计要求。

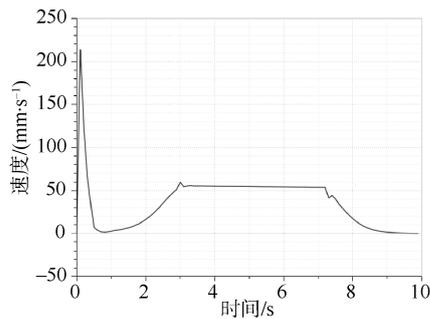


图 5 液压缸运动速度曲线

Fig. 5 Speed curve of hydraulic cylinder

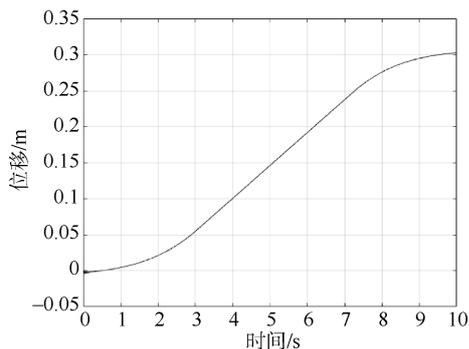


图 6 液压缸伸出位移曲线

Fig. 6 Extended displacement curve of hydraulic cylinder

在传统开闭系统中，活塞在行程始端和终端的速度为 35 mm/s ，而在本系统中活塞行程始端和终端的速度为 20 mm/s ，因此，改进型前盖开闭系统能

大幅度降低行程两端速度，从而有效降低撞击噪声。

3 结束语

本文设计了基于高速开关阀的改进型鱼雷发射系统前盖开闭装置液压回路，并通过 AMESim-Simulink 进行了联合仿真。仿真结果表明：通过对液压缸活塞行程终端和始端的速度控制，改进型鱼雷发射系统前盖开闭装置在满足快速开启前盖的同时，能有效降低前盖开启关闭时的撞击噪声，对保持潜艇隐蔽性有一定积极作用。

参考文献

- [1] 练永庆, 王树宗. 鱼雷发射装置设计原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
- [2] 方洋, 肖峻, 蔡未未, 等. 基于 AMESim 的高速开关阀动态特性仿真研究[J]. 液压与气动, 2019 (7): 81-87.
- [3] 高钦和, 刘志浩, 牛海龙, 等. 高速开关阀控液压缸的位置控制[J]. 中国机械工程, 2014, 25 (20): 2775-2781.
- [4] 高强, 朱玉川, 罗樟, 等. 高速开关阀的复合 PWM 控制策略分析与优化[J]. 北京航空航天大学学报, 2019, 45 (6): 1129-1136.
- [5] 毛雨露. 基于 AMESim 和 Simulink 联合仿真的阀控马达转速控制[J]. 机电工程技术, 2020, 49 (2): 93-95.
- [6] 梁全, 谢基晨, 聂利卫, 等. 液压系统 AMESim 计算机仿真进阶教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [7] 江玲玲, 张俊俊. 基于 AMESim 和 Simulink 联合仿真技术的接口与应用研究[J]. 机床与液压, 2008, 36 (1): 148-149.
- [8] 石良臣. 中国版 MATLAB/Simulink 系统仿真超级学习手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.

(责任编辑: 肖楚楚)