

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.07.023

# 一种气动变射角装填控制方法

朱松柏, 雷超

(中国兵器工业第五八研究所军品部, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 为解决在压制火炮自动供输弹系统中的变射角装填控制问题, 提出一种气动变射角装填控制方法。分析某气动变射角装填装置, 在采集各种参数的基础上, 拟合出随参数变化的方程并实现变射角平稳装填。仿真分析和实物验证结果证明: 该方法能实现平滑运动控制, 达到理想的效果。

**关键词:** 变射角; 多参数; 装填控制

**中图分类号:** TP273 **文献标志码:** A

## A Method of Pneumatic Loading Control Which Angle of Change

Zhu Songbai, Lei Chao

(Dept. of Armament Products, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of loading control which angle of change in pressing artillery auto loss bullet system, put forward a method of pneumatic loading control which angle of change. Analysis the test equipment, base on parameters collecting, fit into function that can realize stability control of pneumatic loading system. Simulation analysis and validate result shows that the method can realize smoothness motor control, and can be reached perfect effects.

**Keywords:** angle of change; multi-parameters; loading control

### 0 引言

在某迫击炮武器系统的研制中, 武器系统需要实现可变射角的自动装填平滑到位和无震荡。其中变射角装填主要靠协调器上下摆完成, 通过对协调器转动气缸的充放气实现协调器的上下摆, 协调器摆动受气压、重力以及角度等多种参数变化的影响。因此, 笔者针对变射角装填这一难题, 提出一种气动变射角装填控制方法。

### 1 气动变射角装填系统

变射角动作如图 1,  $O$  点为协调器耳轴, 协调器绕  $O$  点转动,  $G$  点为协调器与弹构成整体的质心, 气缸杆与协调器在  $B$  点连接, 气缸筒连接于炮架上的  $A$  点处, 绕  $A$  点转动。 $\theta$  为转动角度, 通过在耳轴上安装的传感器测量。考虑协调器下摆过程中协调器重力的影响及系统对时间的要求, 气路采用气缸反向充气和排气节流结合的方法进行运动过程控制, 反向充气通过三位五通阀控制, 在气路上增加了一个节流阀(节流阀固定流量, 通过控制闭合时间调整排气速度), 协调器气动控制回路如图 2。

整个过程中制约协调器上下摆的因素有协调器转动气缸的气压、火炮的高低射角、协调器整体重量(包括弹丸的重量)以及协调器摆臂的转动惯量等几个因素。在上下摆过程中, 要根据这些参数来调整气缸的充放气时机、调整截流电磁阀的开闭时机,

以实现平滑的变射角控制。

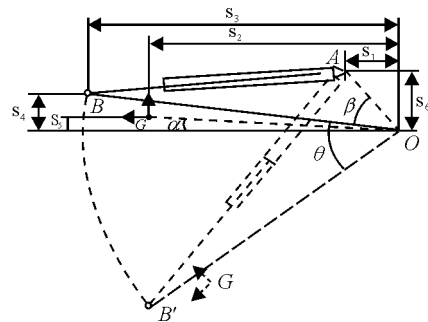
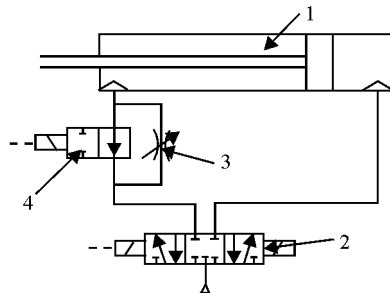


图 1 协调器上、下摆动动作图



1. 转动气缸; 2. 三位五通阀; 3. 节流阀; 4. 节流阀。

图 2 变射角气动控制回路

### 2 数学模型分析

假设协调器重量一定, 其重量为  $M$ , 设制约协调器下摆的 2 个参数分别为气缸气压  $Q$  及火炮高低射角  $S$ , 2 个下摆控制时机分别为转动气缸反充气时机  $T_{反}$  和节流阀节流时机  $T_{节}$ 。数学模型需要建立下

收稿日期: 2011-04-01; 修回日期: 2011-05-20

作者简介: 朱松柏(1981—), 男, 湖南人, 硕士, 工程师, 从事自动控制研究。

摆控制时机与制约参数之间的数学函数关系。

协调器下摆设计速度图如图 3, 整个过程分为 3 段控制, 初始阶段协调器依靠重力下摆, 此时气缸的有杆腔快速排气。气缸反向产生的压力以及摩擦力可以忽略不计, 当协调器下摆达到一定角度和速度时, 三位五通阀反向充气一定时间, 协调器在重力和反向力的作用下, 下摆速度逐渐减小, 当协调器下摆速度降低到一定程度时, 由于作用力速度会逐步上升。到达一定角度时, 给节流控制阀发出信号, 使排气腔气体只能通过节流阀排出, 实现节流缓冲到以较低的速度到达下摆位置的目的。当协调器上摆时, 则对转动气缸有杆腔进行充气, 无杆腔快速排气, 使协调器迅速到达水平位置。

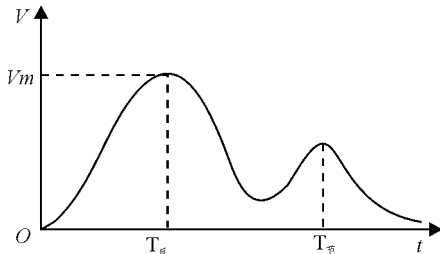


图 3 协调器下摆设计速度图

气缸质量在系统中相对较小, 所以在建立系统数学模型时将系统简化成支臂和弹体绕 O 点的转动, 气缸两腔室的充、放气过程为变质量系统的热力学过程, 根据热力学第一定律和牛顿第二定律, 建立动力学方程<sup>[1]</sup>。

$$\begin{cases}
 J\ddot{\theta} = MgL_{OG} \cos(\theta - \alpha) - (p_1 A_1 - p_2 A_2 - f)L_{OB'} \frac{L_{OA}}{L_{AB'}} \sin(\theta + \beta) \\
 \frac{dp_1}{dt} = \frac{kRT_1 Q_1}{A_1(x_{10} + x)} - \frac{kp_1}{(x_{10} + x)} \dot{x} \\
 \frac{dp_2}{dt} = \frac{kp_1}{(x_{20} + s - x)} \dot{x} - \frac{kRT_2 Q_2}{A_2(x_{10} + s - x)} \\
 x = L_{AB'} \cdot \sin\theta - L_{AB} \\
 L_{AB'} = \sqrt{L_{OB'}^2 + L_{OA}^2 - 2L_{OB'}L_{OA} \cos(\beta + \theta)} \\
 \theta = \frac{1}{2} \dot{\theta}^2 t^2
 \end{cases} \quad (1)$$

其中: 流量  $Q_m$  根据 Sanville.F.E. 的研究, 可用流量公式 (2)、(3) 计算:

$$Q_m = \frac{\sqrt{2k} A_e p_u \varphi(\sigma)}{\sqrt{RT_u (k-1)}} \quad (2)$$

$$\varphi(\sigma) = \begin{cases}
 0.2588, & \sigma = \frac{p_e}{p_u} \leq b \\
 \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}}, & \sigma = \frac{p_e}{p_u} > b
 \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $p_1, p_2, p_u, p_e$  为进气腔、排气腔绝对压力, 上游、下游绝对压力;  $A_1, A_2$  为进气腔、排气腔工作面积;  $x_{10}, x_{20}, s$  为进气腔、排气腔余隙容积相对行程, 气缸行程;  $L_{OG}, L_{OB'}, L_{AB'}, \alpha, \beta, \theta$  为图 1 中的结构参数;  $b$  为临界压力比;  $M, J$  为支臂及弹体质量、转动惯量;

在系统的分析中, 考虑了 3 个假设:

- 1) 通过三位五通阀排气时, 由于排气速度快, 排气腔的压力假设为 0;
- 2) 由于气缸通过大气瓶供气, 假设气缸气压在一次运动过程中保持不变;
- 3) 弹丸的质量受装药的影响变化量较小, 假设重量保持不变。从数学模型可以看出, 射角  $S$  越大, 协调器下摆速度越快, 反向充气和节流时机也应调整。

### 3 仿真及实验验证

#### 3.1 建模仿真

在 Matlab\Simulink 环境下建立仿真模型<sup>[2]</sup>, 如图 4。

通过仿真模型分析, 在不同射角条件下, 反充气角度和节流时机都有各自调节匹配范围, 若反充气和节流时机过晚, 都会造成支臂到位时较大的冲击, 引起形变甚至破坏; 相反, 则会造成支臂下摆反弹或略停顿后到位, 增加了动作完成时间, 不能满足射速的要求<sup>[3]</sup>。图 5、图 6 是对应射角在 45°、53°、62° 下的位移时间和速度时间仿真图, 其中: 协调器反充气时机和节流时机通过函数拟合得出。

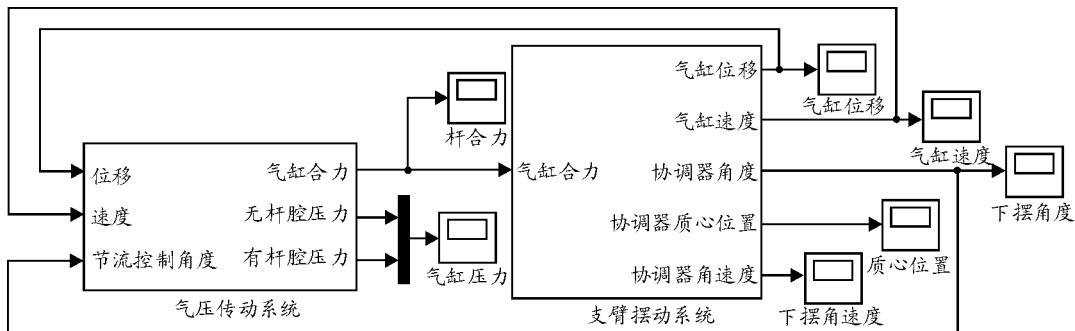


图 4 在 Matlab\Simulink 下建立的系统动力学模型

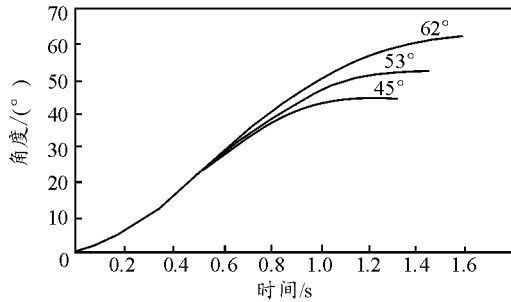


图 5 典型角度下的位移时间图

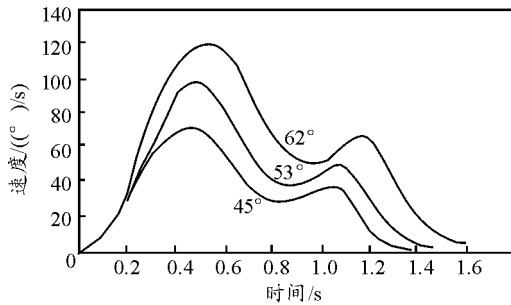
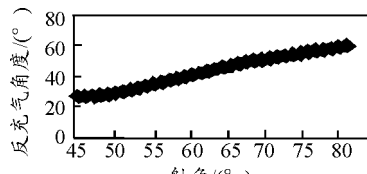


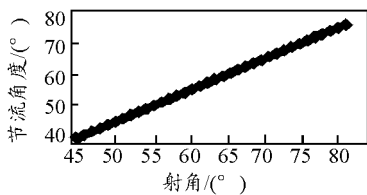
图 6 典型角度下的速度时间图

### 3.2 试验测试

根据火炮的射角范围，对协调器下摆进行实验测试，试验中的气压以及气体流量变化均通过气压计和流量计测出。可以看出，要达到理想的控制曲线，协调器下摆的控制时机随气压和角度的变化呈现出一定的线性关系，实验测试数据如图 7、图 8。

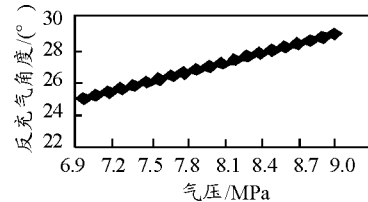


(a) 不同角度下的反充气时机

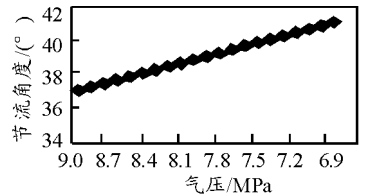


(b) 不同角度下节流阀关闭时机

图 7 不同角度同一气压下的反充气时机和节流阀的关闭时机



(a) 不同气压下的反充气时机



(b) 不同气压下节流阀关闭时机

图 8 射角 45°下反充气时机以及节流阀的关闭时机

图 9 为在供输弹过程的射角为 45°时的测试参数，可以看出，系统运行是符合预定轨迹的，控制平滑可靠。

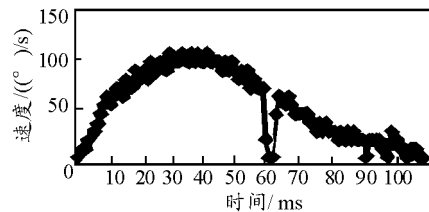


图 9 射角 45°下摆速度时间图

### 4 结论

仿真分析和实物验证结果证明：通过采取函数拟合的方式，只要确定制约性的几个参数，就能合理控制转动气缸控制阀和节流阀关闭和开合时机，实现任意角度的装填，达到稳定的控制效果。

### 参考文献：

- [1] 李建藩. 气压传动系统动力学[M]. 广州：华南理工大学出版社，1991.
- [2] 薛定宇，陈阳泉. 基于 Matlab/Simulin 的系统仿真技术与应用[M]. 北京：清华大学出版社，2002.
- [3] 徐达，林海，等. 大口径顶置火炮输弹机动力学研究[J]. 装甲兵工程学院学报，2006(2).