

某型飞机拦阻系统控制原理及方法分析

吴娟, 袁朝辉, 何长安
(西北工业大学 自动控制系, 陕西 西安 710072)

摘要:文章主要给出了某型飞机拦阻系统基于当量节流作用的控制原理及方法,进行了拦阻过程仿真,仿真结果表明,采用此控制方法设计的系统能够适应不同撞网状况飞机的拦阻。仿真结果证明所采用的控制方法效果良好。

关键词:飞机拦阻系统;当量节流控制规律;控制原理及方法

中图分类号:V37 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)04-0001-03

某型飞机拦阻系统^[1]采用闭环程序控制方法控制节流开口变化规律,利用液压节流作用产生制动压力对飞机进行拦阻。拦阻效果取决于机构控制规律设计,要求不同重量、不同撞网速度飞机在限定距离内被拦停,并且刹车压力、带的拉力、以及飞机的过载状况均能满足设计要求。由于要适于野战条件,且保证拦阻可靠,因此控制机构拟采用纯机械机构,这给要适应不同拦阻状况的控制规律设计及实现带来了困难。

1 当量节流控制规律

在确定系统机构控制策略之前,首先应该按照系统拦阻指标要求,确定同一拦停距离下,不同吨位飞机在某一撞网速度下的当量节流控制规律。所谓当量节流控制规律即机构联合控制应得到的节流面积变化规律,此当量节流控制规律可通过建立飞机拦阻系统设计分析模型(略)来求出。在不超过带拉力、飞机过载限定指标的前提下按照理想的飞机加速度变化规律先确定带拉力的输入变化规律,而后由设计分析模型求出当量节流控制规律。以150 m拦停距离、305 km/h撞网速度为例,经计算,确定各吨位当量节流面积变化规律如图1所示曲线规律。由曲线规律可得出以下结论:

1) 拦阻制动系统如果能实现图1所示各吨位当量面积 $A_v(t)$ 的变化规律,就能在150 m拦停距离内,安全拦停撞网速度为305 km/h的不同重量飞机,其带拉力、制动压力、飞机过载均不超过拦阻指标且在整个拦停距离内变化比较均匀。

2) 由图1可看出,虽然各吨位当量面积变化规律终止段比较接近,但起始段数值差异很大,若简单用低吨位的面积变化规律代替高吨位的面积变化规律易使拦停距离超过指标要求,用高吨位的面积变化规律代替低吨位的面积变化规律易使带拉力、飞机过载超过指标要求,因此需要通过设计合理的控制机构,用较简单的控制方法,对于不同吨位飞机实现或接近实现其各自的当量节流控制规律。

3) 要使各吨位飞机实现或接近实现其各自的当量节流控制规律,机构可采用针阀和凸轮控制阀联合控制的方法,对于不同重量飞机,通过调节针阀来适应,凸轮控制阀则采用同一(对于同一拦停距离)控制规律。针阀属于可调节流阀,作用是使系统建立刹车压力并通过预先调节节流口大小以适应不同重量飞机在

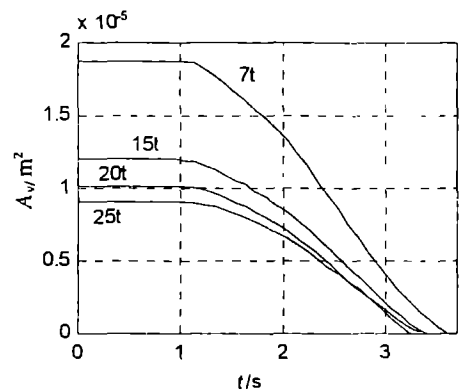


图1 各吨位当量面积变化规律曲线

不同撞网速度情况下的拦阻,拦阻过程中节流口大小不变;凸轮控制阀属于可变节流阀,在拦阻过程中按一定程序改变节流口面积大小,与针阀相结合使系统获得较优的刹车压力,并可通过调节凸轮初始位置来调节拦停距离。

2 具体控制原理及方法

2.1 凸轮控制阀面积规律

针阀面积、凸轮控制阀面积及当量节流面积三者之间的关系推导如下。

针阀和凸轮控制阀是串联连接,因此通过针阀及凸轮控制阀的流量公式为

$$Q_1 = Q_b = C_{d1} A_{1v} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_b - P_z)}, \quad Q_2 = Q_b = C_{d2} A_{2v} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_z - 0)}$$

则, $Q_b^2 = (C_{d1} A_{1v})^2 \frac{2}{\rho} (P_b - P_z)$, $Q_b^2 = (C_{d2} A_{2v})^2 \frac{2}{\rho} P_z$ 式中, Q_1 、 Q_2 、 Q_b 分别为通过凸轮阀、针阀及泵出口的流量; C_{d1} 、 C_{d2} 为流量系数, A_{1v} 、 A_{2v} 分别为凸轮控制阀阀口面积及针阀阀口面积; P_1 、 P_2 、 P_b 分别为凸轮控制阀阀前、针阀阀前及泵前的压力。 ρ 为油液密度。假设 $C_{d1} = C_{d2} = C_d$, 两式相加可得到:

$$Q_b^2 = \frac{2}{\rho} C_d^2 \left[\frac{A_{1v}^2 (P_b - P_z) + A_{2v}^2 P_z}{2} \right] = C_d^2 \left[\frac{A_{1v}^2 (P_b - P_z) + A_{2v}^2 P_z}{2P_b} \right] \frac{2}{\rho} P_b$$

令 $A_v^2 = \frac{A_{1v}^2 (P_b - P_z) + A_{2v}^2 P_z}{2P_b}$, A_v 为当量面积, 又由 $C_{d1} A_{1v} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_b - P_z)} = C_{d2} A_{2v} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_z - 0)}$ 推得: $\frac{P_z}{P_b} =$

$$\frac{A_{1v}^2}{A_{1v}^2 + A_{2v}^2}$$

可求得当量面积为

$$A_v^2 = \frac{A_{1v}^2 (P_b - P_z) + A_{2v}^2 P_z}{2P_b} = \frac{A_{1v}^2}{2} + \frac{A_{2v}^2 - A_{1v}^2}{2} \cdot \frac{P_z}{P_b} = \frac{A_{1v}^2 A_{2v}^2}{A_{1v}^2 + A_{2v}^2}$$

因此, 凸轮控制阀的节流面积为

$$A_{1v} = \frac{A_v}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_v}{A_{2v}}\right)^2}}$$

上式即为凸轮控制阀面积、针阀面积及当量节流面积三者之间的关系公式。设计控制机构时, 通过给定针阀面积及已知的当量节流面积规律可确定凸轮控制阀的面积规律, 进而可设计凸轮型面。

2.2 控制原理及方法

对于同一拦停距离, 采用针阀和凸轮控制阀联合控制以适应不同重量飞机获得当量节流控制规律的原理及方法如下:

为了机构的可实现性及实际使用时的方便调节, 对于同一拦停距离, 希望通过调节针阀面积来适应不同吨位飞机, 而凸轮控制阀则采用一个面积规律。从 A_{1v} 、 A_v 、 A_{2v} 三者关系式及图 1 知, 如果针阀面积取值略大于当量面积的初值, 则在拦阻初段凸轮控制阀的面积初值可以设计为很大; 而在拦阻终段由于当量面积逐渐趋于零, 因此凸轮控制阀的面积终值逐渐趋于当量面积的取值。据此分析, 可以通过选择针阀面积把各吨位的凸轮控制阀节流面积初值设计为一致, 这样, 各吨位的凸轮控制阀面积值就比较接近, 可以用高吨位的凸轮控制阀面积值代替低吨位的凸轮控制阀面积

值, 即针对不同吨位的飞机, 可以通过调节针阀面积来适应, 而凸轮控制阀可采用一个面积规律, 只要各项指标不超过设计要求即可。图 2 所示为 150 m 拦停距离, 305 km/h 撞网速度的各吨位飞机拦阻时的凸轮控制阀面积变化规律, 如果用 25 t 的凸轮控制阀面积变化规律代替其它吨位的面积变化规律, 与各吨位针阀节流面积相结合, 可得到近似的各吨位当量面积, 如图 3 所示。图 3 中实线表示原当量面积, 虚线表示近似当量面积, 可看出除了低吨位近似当量面积与原当量面积差异较大外, 总体效果比较接近。如果飞机过载余量不大, 采用近似当量面积对吨位较小的飞机进行拦阻时, 在中间段飞机过载会出现超过指标的状况, 但只要

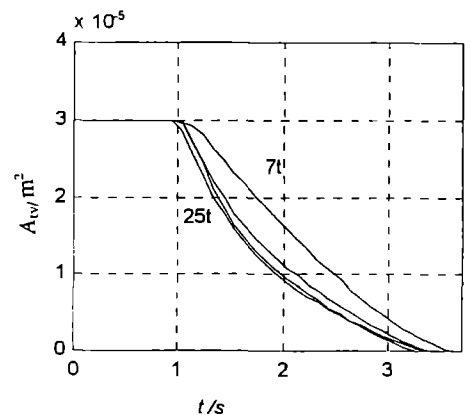


图 2 各吨位凸轮控制阀面积变化规律曲线

最小拦停距离距 150 m 有一定余量,就可按照满拦停距离设计 25 t 位当量面积及凸轮控制阀面积规律,再与各吨位针阀面积相结合得到各吨位近似当量面积。这样设计可使过载减小。

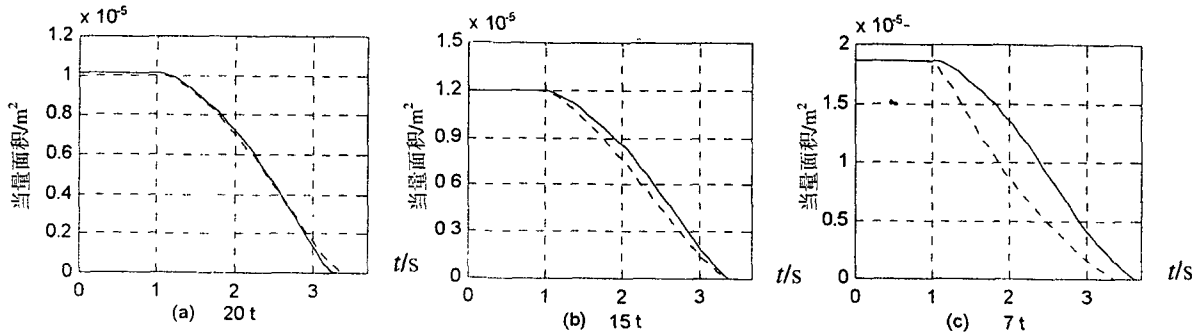


图3 150 m 拦停距离、305 km/h 撞网速度各吨位当量面积及近似当量面积

3 仿真效果及结论

采用上述控制方法对各吨位飞机在 150 m 拦停距离 305 km/h 撞网速度状况下进行拦阻过程仿真,仿真参数见文献[1],仿真结果各项指标(飞机过载 $\leq 3g$,带拉力 ≤ 50 kN,刹车压力 ≤ 16.5 MPa)均满足要求(除 7 t 飞机过载略超 3 g 外)。限于篇幅,仅给出各吨位飞机过载量的变化曲线(见图 4),其中 s 表示飞机的运动位移, a 表示飞机过载量(加速度)。仿真时凸轮面积变化规律采用的是 25 t 位的面积变化规律,因此 25 t 的控制规律为当量节流控制规律,20 t、15 t、7 t 的控制规律则为近似当量节流控制规律,由于在 150 m 内拦停 305 km/h 撞网速度的飞机理论上必需的飞机过载已接近 3 g,因此实际设计控制规律时要使各吨位飞机过载均满足 $\leq 3g$ 是很难实现的,从仿真结果看出,除了 7 t 撞网状况的飞机过载略微超过 3 g 外,其余各项指标均能满足要求,采用近似当量节流控制规律达到这样的效果,已很理想,说明这种控制方法非常有效。

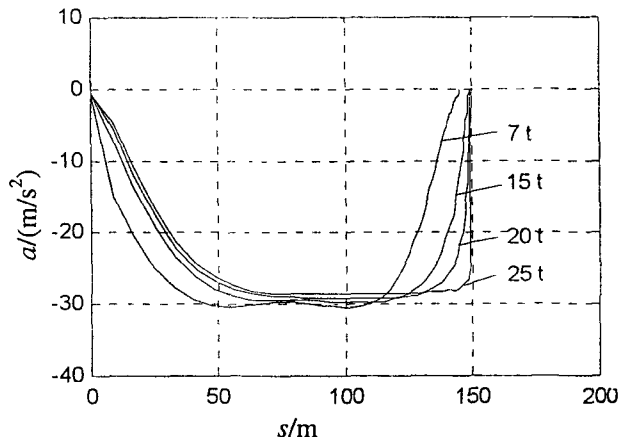


图4 150 m 拦停距离、305 km/h 撞网速度各吨位飞机拦阻过程过载变化曲线

对于低于 305 km/h 撞网速度状况的拦阻可采用 305 km/h 撞网速度下的当量节流控制规律,其拦停距离基本不变,飞机过载减小,各项指标完全能满足。这一结论可推广为同一拦停距离、同一重量飞机,在高速撞网时的拦阻当量控制规律适于低速撞网时的拦阻控制。

对于不同拦停距离(200 m、250 m),可将 150 m 凸轮控制阀面积规律在初始段(最大值时)适当延时,再与针阀面积相结合获取近似当量面积,在此不再赘述。

参考文献:

[1] 吴娟,袁朝辉. 某型飞机拦阻系统建模分析及仿真实现[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2001,2(6):11-14.
 [2] 楼顺天,于卫. 基于 MATLAB 的系统仿真与设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社 1999.

(编辑:姚树峰)

Control Principle and Method Analysis of an Aircraft Arresting System

WU Juan, YUANG Zhao-hui, HE Chang-an

(Northwestern Polytechnic University, Xi'an, Shaanxi 710072, China)

Abstract: This paper presents the control principle and method based on the equivalent throttling action of an aircraft arresting system and also presents the simulation of the arresting process by using this method. The result shows that the system based on the control method can arrest aircraft in different engaging conditions.

Key words: aircraft arresting system; the law of equivalent throttling control; control principle and method analysis