

大型运输类飞机自动刹车控制系统研究

刘劲松¹, 李胜军², 陈竞强¹, 周宏博¹

(1. 西安航空制动科技有限公司, 西安 710075; 2. 第一飞机设计研究院, 西安 710089)

摘要: 大型运输类飞机对安全性和乘客舒适度的要求较高, 采用自动刹车控制系统已成为迫切的需求。首先介绍可适用于大型运输类飞机的自动刹车控制系统, 设计了系统的方案和架构, 分析了系统的工作原理, 提出了系统的控制逻辑, 详细研究了基于恒减速率的控制律, 对其进行了计算机仿真分析, 最后在惯性试验台上对自动刹车控制系统进行了动态系统联试, 试验结果达到了预期的研究目标。

关键词: 大型运输类飞机; 自动刹车控制系统; 恒减速率; 动态系统联试

中图分类号: V227+.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)11-0066-04

Research on Automatic Brake Control System of Large Transport Aircraft

LIU Jin-song¹, LI Sheng-jun², CHEN Jing-qiang¹, ZHOU Hong-bo¹

(1. Xi'an Aviation Brake Technology Co., Ltd., Xi'an 710075, China;

2. The First Aircraft Design and Research Institute, Xi'an 710089, China)

Abstract: The large transport aircraft has high requirement to the safety and comfort level of passengers, and automatic brake control system has become an urgent needed system. An automatic brake control system applicable for large transport aircrafts is presented in the paper. The scheme and architecture of the system are given, and analysis is made to the working principle of the system. The system control logic is put forward, and the control law based on the constant reduction rate is studied. Computer simulation was carried out. A dynamic system test was made to the automatic brake control system on an inertial test bench, and the test results achieved the expected objectives.

Key words: large transport aircraft; automatic brake control system; constant reduction rate; dynamic system test

0 引言

飞机刹车系统是对飞机起飞、安全着陆有重要影响的功能系统, 其主要作用是在飞机起飞、着陆、滑行、转弯过程中进行有效的制动和控制, 吸收飞机的滑跑动能, 使飞机速度快速降低, 达到缩短滑跑距离的目的^[1-2]。现代飞机多使用数字式电传操纵液压作动刹车系统, 刹车操纵由驾驶员蹬踏脚蹬实现, 刹车压力的大小由驾驶员人工控制。

对于大型运输类飞机而言, 由于驾驶员的工作负荷较大, 难以实现连贯一致的刹车压力, 影响着陆刹

车过程中的乘坐舒适性, 另外在飞机出现特殊情况下, 驾驶员来不及操纵刹车或刹车压力不足也可能影响飞机的安全。为解决上述问题, 国外大型运输类飞机的刹车系统普遍配备了自动刹车控制系统, 大大减轻了驾驶员的负担, 提高了飞机起降制动的安全性^[3]。而国内此前尚未进行相关的研究和应用, 本文提出了飞机自动刹车控制系统, 并对其进行了研究。

1 系统设计和原理

典型的飞机刹车系统主要由刹车指令传感器、防滑刹车控制盒、电液压力伺服阀、电磁开关阀、定量器、转换阀以及机轮速度传感器等组成^[4], 见图1。基本的刹车防滑工作原理为^[5]: 驾驶员操纵刹车脚蹬, 使刹车指令传感器输出与脚蹬位移成正比的电信号, 防滑刹车控制盒根据输入的电信号, 计算出相对应的刹车

电流。同时,防滑刹车控制盒接收机轮速度传感器输出的机轮速度信号,判断出机轮的滑动状态,并依据机轮滑动的深浅,按防滑控制律计算出相对应的防滑电流。将刹车电流和防滑电流综合后,防滑刹车控制盒输出控制信号给电磁开关阀,使其开启以接通电液压力伺服阀进油通路,同时输出综合后的控制电流给电液压力伺服阀,调节输出到刹车机轮的刹车压力,产生适当的制动力矩,从而实现飞机的刹车和防滑。

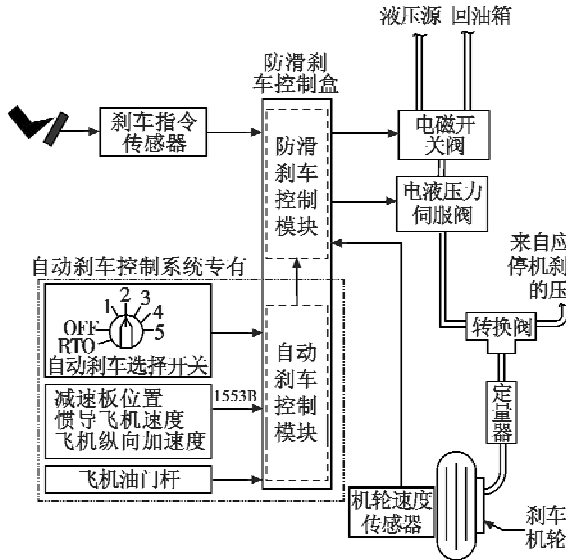


图 1 飞机自动刹车控制系统框图

Fig. 1 The block diagram of aircraft automatic brake control system

在典型飞机刹车系统的基础上,增加自动刹车选择开关,在防滑刹车控制盒内部增加自动刹车控制模块,引入飞机油门杆信号、飞机的减速板位置、惯导飞机速度、飞机纵向加速度等信号,即可组成自动刹车控制系统,具体见图 1。自动刹车控制系统的工作原理是:驾驶员在飞机起飞或着陆前操纵自动刹车选择开关,选择适当的减速率档位,防滑刹车控制盒的自动刹车控制模块根据采集到的惯导飞机速度、油门杆等信号,按照自动刹车控制逻辑,在满足启动条件后立即自动刹车,按照自动刹车控制律计算出所需的刹车电流,输出到防滑控制模块。防滑控制模块仍采集机轮速度信号、按防滑刹车控制律计算防滑电流,然后将刹车电流和防滑电流综合后,输出控制信号给电磁开关阀,使其开启以接通电液压力伺服阀进油通路,同时输出综合后的控制电流给电液压力伺服阀,调节输出到刹车机轮的刹车压力,产生适当的制动力矩,从而实现飞机均匀刹车减速。

2 控制逻辑和控制律

2.1 自动刹车控制逻辑设计

自动刹车选择开关的档位通常包括 1~5 档 5 个

着陆自动刹车档位(分别表示不同的减速率档位,见表 1)、一个 OFF(关闭)档位、一个 RTO(中止起飞)档位。当驾驶员选择 1~5 档时,自动刹车控制系统进入着陆模式;当驾驶员选择 RTO 档时,自动刹车控制系统进入中止起飞模式;当驾驶员选择 OFF 档时,自动刹车控制系统关闭。

表 1 自动刹车档位对应的减速率

Table 1 Deceleration rate definition of automatic brake gear

档位	1	2	3	4	5	RTO
减速率/($m \cdot s^{-2}$)	1.37	1.83	2.29	2.75	3.35	最大可用减速率

在着陆模式下,自动刹车控制模块接收飞机油门杆信号、减速板位置、惯导飞机速度、飞机纵向加速度等信号,进行逻辑判断,下述条件是否满足:1) 飞机处于“地面”模式;2) 全部扰流板处于“打开”状态;3) 整个刹车系统未检测到故障;4) 接收的飞机速度正常有效;5) 驾驶员快速操纵油门杆到慢车位。当上述条件均满足后,自动刹车功能自动被激活,自动刹车控制模块比较驾驶员选定的减速率与飞机实际的减速率信号,采用恒减速率控制律进行计算和处理,然后输出自动控制信号到防滑刹车控制模块,防滑刹车控制模块产生相应的刹车电流,在和按防滑控制律得到的防滑电流综合后给电磁开关阀,使其开启以接通电液压力伺服阀进油通路,同时输出综合后的控制电流给电液压力伺服阀,调节输出到刹车机轮的刹车压力,产生适当的制动力矩,从而实现飞机的均匀减速。

自动刹车着陆过程中,出现以下任一种情况时,系统自动解除自动刹车功能,发出告警信号,同时转换为人工控制刹车模式,自动刹车选择开关自动复位至“OFF”档。这些情况包括:1) 驾驶员将自动刹车选择开关置于“OFF”档位;2) 驾驶员踩刹踏板大于一定阈值(20%);3) 刹车系统出现故障。

在起飞模式下,自动刹车控制模块接收飞机油门杆信号、减速板位置、惯导飞机速度、飞机纵向加速度等信号,进行逻辑判断:1) 飞机速度是否大于 200 km/h;2) 驾驶员是否快速操纵油门杆到慢车位。若条件均满足,自动刹车功能自动被激活,自动刹车控制模块按最大可用的减速率进行计算和处理,然后输出自动控制信号到防滑刹车控制模块,进行自动刹车。

起飞模式下,出现以下任一种情况时系统自动解除自动刹车功能,发出告警信号,同时转换为人工控制刹车模式,自动刹车选择开关自动复位至“OFF”档。这些情况包括:1) 自动刹车选择开关扳到“OFF”档位;2) 刹车系统出现故障;3) 驾驶员踩刹踏板大于一定阈值(20%);4) 发动机油门杆不处于慢车位置。

2.2 复合刹车控制律设计

由于飞机自动刹车控制系统在实现自动刹车功能

的同时必须保留原有的防滑控制功能,所以应采用复合刹车控制律,如图2所示。

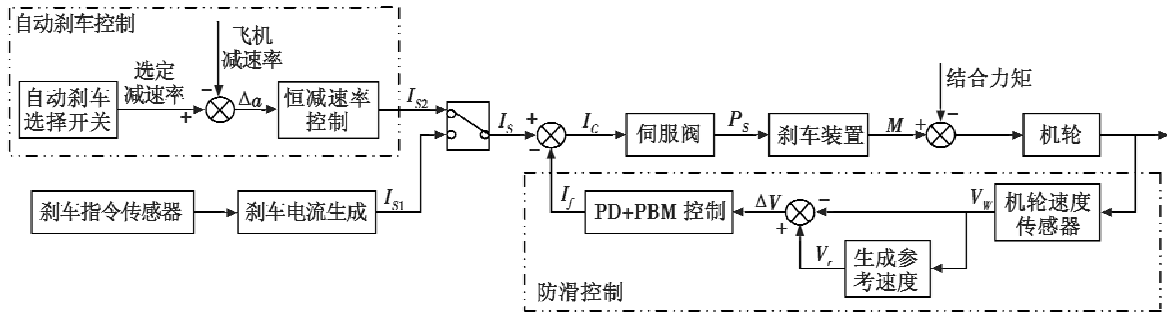


图2 自动刹车控制系统复合控制律耦合框图

Fig.2 The diagram of aircraft automatic brake system composite control law

在满足自动刹车控制逻辑的条件下,自动刹车控制的功能是自动刹车并使飞机均匀减速;而防滑控制的功能是防止机轮抱死、轮胎爆破。在系统中,自动刹车控制可以视为防滑控制的前级。

自动刹车控制采用了恒减速率控制律,具体就是以驾驶员设定的减速率为控制目标,采集飞机的真实速度信号(来自惯导或GPS),按增量式PID控制算法进行计算,得到自动刹车控制信号 I_{s2} ,与驾驶员脚蹬对应的刹车控制信号 I_{s1} 按式(1)进行计算,得到综合刹车控制信号 I_s 。综合刹车控制信号 I_s 与防滑控制信号 I_f 按式(2)进行计算,得到伺服阀控制信号 I_c ,改变伺服阀输出到刹车装置的刹车压力 P_s ,从而调节刹车力矩 M ,确保飞机的减速率基本恒定。

$$I_s = \begin{cases} I_{s1} & I_{s1} \geq 20\% \\ I_{s2} & I_{s1} < 20\% \end{cases} \quad (1)$$

式中: I_s 为综合刹车控制信号; I_{s1} 为脚蹬刹车控制信号; I_{s2} 为自动刹车信号。

$$I_c = I_s - I_f \quad (2)$$

式中: I_c 为伺服阀控制信号; I_f 为防滑控制信号。

防滑控制采用了滑移率控制律,具体就是采集机轮速度信号,按照带偏压调节的比例微分调节算法^[6]进行计算,得到防滑控制信号 I_f ,经与综合刹车控制信号 I_s 进行综合后输出到伺服阀,从而实现根据机轮打滑的深浅减小刹车压力,避免机轮打滑,提高防滑刹车效率。

自动刹车控制系统采用复合控制律后,既可以实现飞机自动刹车时的均匀减速,也可以满足飞机在任何跑道道面的防滑控制需求。

3 试验结果

3.1 仿真分析

通过构建典型的自动刹车控制系统模型进行仿真分析,仿真模型见图3。仿真模型包括飞机动力学模型、起落架及机轮轮胎模型、刹车控制模块模型、伺服阀模型以及刹车装置模型。仿真试验曲线见图4。

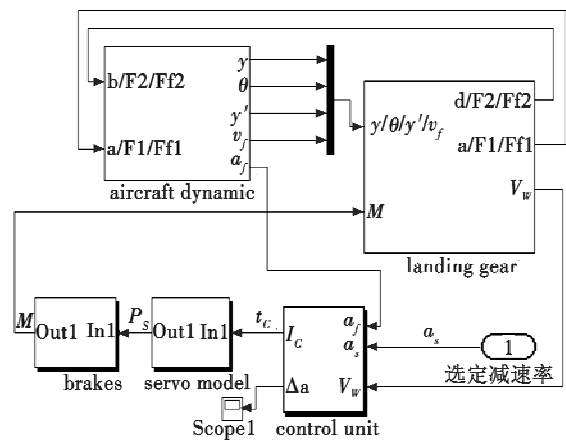


图3 自动刹车控制系统仿真模型

Fig.3 Simulation model of automatic brake control system

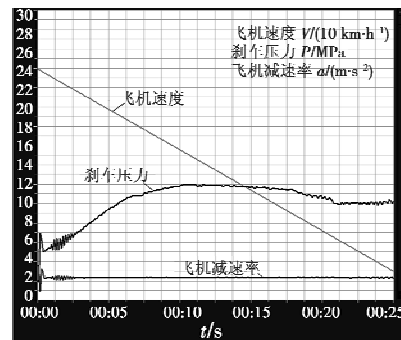


图4 自动刹车控制系统仿真试验曲线

Fig.4 Simulation test curve of automatic brake control system

图4的仿真试验条件是干水泥跑道、飞机初始刹车速度240 km/h、刹车选择开关设置为3档(对应的预置减速率为 2.29 m/s^2),刹车机轮为使用SC303碳摩擦材料的刹车机轮,由图4可以看出,自动刹车控制系统的控制律可以实现飞机的恒减速率刹车控制。

3.2 动态试验

为验证自动刹车控制系统的功能及性能,对于某大型运输类飞机刹车系统,在惯性防滑刹车试验台进行了自动刹车动态试验,试验条件同上,试验曲线见图

5. 由试验曲线和数据可以看出,自动刹车控制系统能够较好地实现飞机的均匀减速,实际减速率(即负加速度)为 2.16 m/s^2 ,与预置减速率相差仅 5.6%,全刹车过程中刹车压力和刹车力矩变化较平稳,没有剧烈的波动,达到了恒减速率控制的目的。

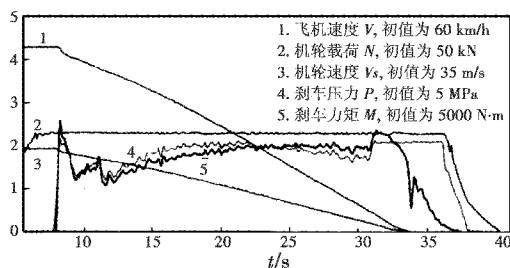


图 5 自动刹车动态系统联试曲线

Fig. 5 Dynamic system test curve of automatic brake

4 结论

由于大型运输类飞机对安全性和乘客舒适度的要求较高,自动刹车控制系统的应用成为必需。此外,在汽车行业,欧盟也要求自 2014 年起所有新车必须配备自动刹车系统以通过 E-NCAP 安全认证。自动刹车控制已成为飞机与汽车等行业重要的安全手段。

本文研究了自动刹车控制系统的组成、控制逻辑及控制率,并对其进行了仿真分析和试验验证。应用本文提出的自动刹车控制系统可以显著提高刹车系统的安全性和可靠性,且具有以下技术优势:

1) 在特殊情况或危急情况时,自动刹车控制系统能够以最快的速度提供最大的刹车压力,避免驾驶员操纵刹车滞后或刹车压力不足可能导致的危险;

2) 自动刹车控制系统可以提供连贯一致的刹车压力,避免驾驶员刹车前后不一致或左右压力不一致可能导致的不安全后果;

3) 飞机着陆过程中,自动刹车控制系统自动调节刹车压力使飞机以恒减速率减速,显著提高乘员和乘客在着陆过程中的舒适感;

4) 由于不需要蹬踏刹车踏板,自动刹车系统的工作可以减少驾驶员的工作负荷。

综上所述,发展研制自动刹车控制系统有利于提

高我国机轮刹车系统的技术水平,该技术如能应用于大型运输类飞机或战斗机,对于提高安全性具有重大意义。同时,其控制逻辑和控制律对于汽车自动刹车控制的研究也具有一定的借鉴作用,拥有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 徐冬苓,李玉忍. 飞机防滑刹车系统的建模与仿真研究[J]. 测控技术,2004,23(11):66-68.
XU D L, LI Y R. Research on modeling and simulation of aircraft anti-skid braking system [J]. Measurement & Control Technology, 2004, 23(11):66-68.
- [2] 刘劲松,刘长伟,范淑芳. 基于 EMA 的飞机全电刹车系统研究[J]. 航空精密制造技术,2012,48(6):40-43.
LIU J S, LIU C W, FAN S F. Research of electric brake of aircraft based on EMA [J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2012, 48(6):40-43.
- [3] 田广来,谢利理. 机轮刹车系统的控制与仿真技术[J]. 测控技术,2006,25(2):1-5.
TIAN G L, XIE L L. Development of control and simulation technology of aircraft braking system [J]. Measurement & Control Technology, 2006, 25(2):1-5.
- [4] 王纪森,何长安. 防滑刹车控制系统分析[J]. 西北工业大学学报,2000,18(3):469-473.
WANG J S, HE C A. On improving the performance of aircraft antilock brake system [J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2000, 18(3):469-473.
- [5] 严爱军,王普,安晓辉. 飞机防滑刹车控制方法综述[J]. 控制工程,2008,15(1):1-4.
YAN A J, WANG P, AN X H. Review of control method for airplane antiskid braking system [J]. Control Engineering of China, 2008, 15(1):1-4.
- [6] 邹美英,谢利理. 飞机液压刹车系统数字仿真研究[J]. 计算机仿真,2005,22(8):45-49.
ZOU M Y, XIE L L. Research on digital simulation of aircraft hydraulic braking system [J]. Computer Simulation, 2005, 22(8):45-49.

欢迎投稿 网址: <http://www.dgykz.com>