

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.03.021

# 民用飞机刹车系统简图页设计研究

## Research on Synoptic Design for Brake System

赵 晖 易子淳 章光灿 / ZHAO Hui YI Zichun ZHANG Guangcan

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

### 摘 要:

刹车系统对民用飞机的安全运行起着重要作用,而简图页是机组对刹车系统进行检查及操作的重要信息指示来源。通过分析简图页的设计需求及设计理念,并对典型民用飞机刹车系统简图页设计进行研究,提出一种简图页设计优化方案。优化方案从各方面更好地满足了设计需求及设计理念,也更加高效合理且便于机组使用。

**关键词:** 民用飞机; 刹车系统; 简图页设计

**中图分类号:** V227+.6

**文献标识码:** A

**OSID:**



[Abstract] Brake system plays an important role in safe operation of civil aircraft, and synoptic page as an important source of system status indication is used by crew to check and operate brake system. This paper analyses the design requirement and design ideas of developing synoptic page. Based on the study of brake system of typical civil aircraft and its synoptic page, the design optimization program for the synoptic page has been provided. The optimized program not only met all the requirement and philosophy better, but also it was high efficiency and more convenient for crews to use.

[Keywords] civil aircraft; brake system; synoptic design

## 0 引言

刹车系统是飞机上相对独立的重要安全保障系统,对飞机起飞、着陆的安全运行有重要影响。机组通过驾驶舱操纵器件对刹车系统进行操纵控制,并且按照系统的反馈指示进行系统状态判断及下一步操作。刹车系统通过机组告警系统(Crew Alerting System,以下简称CAS)、简图页系统(系统状态指示)、驾驶舱仪表盘将系统状态反馈给机组。简图页信息不仅帮助机组确认系统状态,还配合CAS确认系统详细故障信息。因此,一套完整、高效、清晰、合理的简图页指示能够提高机组的工作效率,减轻工作负担。

目前普遍公认的是,系统告警及状态指示的复杂程度与航电系统或飞机系统的复杂程度成正比。对于现代民用飞机,电气、机械或液压(或任何其他类型)等系统数量远大于早期的飞机,并且飞机系

统变得更加复杂和先进,故障管理和健康监控的需求在不断增加<sup>[1]</sup>。在这样的大环境下,简图页的设计变得越来越困难。

本文基于简图页设计需求及设计理念,对典型民用飞机刹车系统及其简图页设计进行了详细分析。在此基础上对简图页设计进行优化,优化方案不但更好的满足了设计需求及设计理念,也更加高效合理且便于机组使用。

## 1 简图页设计需求及理念

简图页设计时要满足所有的设计输入,即设计需求。除满足设计需求外,简图页还应当满足设计理念,好的设计理念使简图页完整、高效、清晰、合理。

### 1.1 简图页设计需求

典型的系统研制是通过自上而下的需求分配及需求确认和自下而上的需求实现及设计验证的方法

并以迭代与并行的方法进行<sup>[2]</sup>。本文所提及的设计需求是在自上而下的流程中通过捕获飞机级分配给系统级的需求以及系统级的衍生需求,这些需求作为简图页设计的输入。主要的设计需求如下:

(1)功能需求。譬如常见的针对简图页的飞机级需求为“为机组提供系统显示信息”,该需求分配到系统级即为“为机组提供刹车系统状态信息”。

(2)安全性需求。譬如常见的刹车系统功能危险性评估(Functional Hazard Assessment,以下简称FHA)中会有安全性要求“飞机终止起飞时,刹车温度误指示且伴随刹车过热的概率应小于某概率”。这条安全性需求分配给简图页的需求即为指示刹车温度。

(3)客户需求。包括来自运营商、机组、维修公司等的需求。譬如航空公司要求在踩踏刹车脚踏时要有刹车压力指示以便观察刹车系统工作是否正常,这条需求会使得简图页设计时要显示刹车压力。

(4)性能需求。包括简图页显示精度、保真度、范围、解析度、响应时间等。

(5)物理需求。包括简图页上显示的LRU(Line Replaceable Unit,简称LRU,航线/外场可更换单元)颜色、尺寸等方面要求,以及全机显示的一致性要求。另外,简图页颜色也需要与驾驶舱内的灯(警告灯、戒备灯和提示灯<sup>[3]</sup>)及EICAS(Engine Indication and Crew Alert System,简称EICAS,发动机指示和机组告警系统)指示的颜色理念保持一致。

(6)其他需求。包括全机各个系统的简图页设计风格是否相同等。

## 1.2 简图页设计理念

简图页必须清晰无误地为机组提供系统的工作状态,并提供相关的过程信息以操纵飞机运行在预定的轨道上,在任何正常和非正常情况下这些信息都必须是准确易懂、清晰可辨的<sup>[4]</sup>。除了简图页设计需求外,还应当遵循以下设计理念:

(1)应以直观的形式显示系统状态和系统信息,减少机组看到简图页后用于思考反映的时间;

(2)应包含系统示意图,该示意图应与飞机情况一致(譬如前机轮位于页面顶部),并使用简化的轮廓代表系统的主要部件;

(3)应便于确认系统状态,包括静态状态(如刹车温度、轮胎压力、刹车蓄压器压力等)及动态状态(如驾驶舱器件操作后系统的状态);

(4)应便于辅助CAS操作,譬如当CAS出现“刹车蓄压器压力低”告警后,机组应查看简图页中刹车蓄压器压力并判断剩余压力能够支持几次刹车操作;

(5)应仅通过简图页就能观察到整个系统状态,而无需观察驾驶舱仪表。

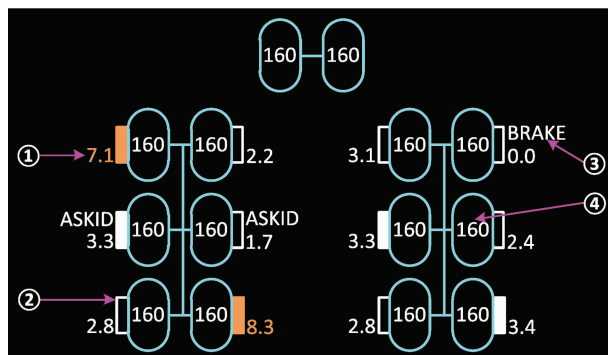
## 2 典型刹车系统简图页分析

目前主流民用飞机刹车系统架构为电传液压作动形式,本文选择两种主流机型进行分析,分别为波音777及空客A320。通过其简图页设计的对比,分析其简图页设计的优缺点。

### 2.1 波音777机型刹车系统分析

波音777的刹车系统实现的主要功能包括:人工刹车、自动刹车、防滑保护、停机刹车、告警及状态指示。

在驾驶舱中的操纵器件及指示器包括刹车脚踏、自动刹车开关、停机刹车手柄、刹车液压能源指示灯、刹车蓄压器压力指示表。其简图页设计如图1所示。



注:① 刹车温度数值:指示该机轮温度数值;② 刹车温度状态:当常温时图形为白色空心框,当高温时为白色实心框,当超高温时为橙色实心框;③ 单个机轮故障:当显示字符为 BRAKE 时表示该机轮无法进行刹车作动,当显示字符为 ASKID 时表示该机轮无防滑保护;④ 胎压指示:指示该机轮轮胎的压力。

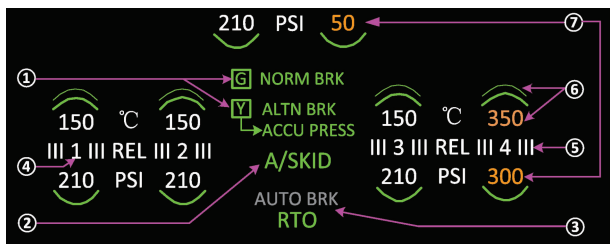
图1 波音777机型简图页

### 2.2 空客A320机型刹车系统分析

空客A320机型刹车系统实现的主要功能与波音777机型相同。

该系统在驾驶舱中的操纵器件及指示器包括刹车脚踏、自动刹车选择面板、防滑解除开关、停机刹车手柄、刹车风扇选择开关,刹车压力指示表、刹车

蓄压器压力指示表,自动刹车减速率指示灯。此外,空客 A320 机型还配备了故障预测及健康管理 (Prognostic and Health Management,以下简称 PHM) 等<sup>[5]</sup>辅助安全措施,用以保证系统的安全操作运行。其简图页设计如图 2 所示。



注:① 刹车模式:指示正常/备份刹车模式及相应的液压能源状态;② 防滑:指示防滑系统故障或关闭状态;③ 自动刹车:指示自动刹车档位或故障状态;④ 机轮编号:飞机沿航向从左到右侧依次为 1、2、3、4;⑤ 释压:指示无法释放刹车压力的状态;⑥ 刹车温度:指示刹车温度数值及超高温状态;⑦ 轮胎压力:指示轮胎压力数值及过高和过低胎压状态。

图 2 空客 A320 机型简图页

### 2.3 简图页设计对比分析

基于波音 777 机型与空客 A320 机型进行简图页设计分析对比,结果见表 1。

表 1 两种典型机型的简图页设计对比

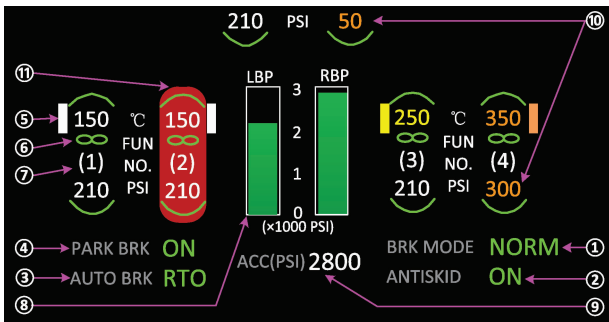
简图页指示项	波音 777	A320	分析内容	分析结论
液压能源指示	无	有	1) 液压系统本身会指示每套系统的压力,无需刹车系统再次指示; 2) 单套液压系统压力低时不需要告知机组; 3) 双套液压系统压力低时只需要告知机组使用刹车蓄压器进行刹车	无需指示
刹车模式	无	有	不同刹车模式的功能并不完全相同,例如波音 777 的自动刹车功能只在正常刹车模式中,A320 的停机刹车功能只在备份刹车模式中	需要指示
系统防滑状态	无	有	该系统防滑状态指示是为了配合单个机轮的防滑状态使用	需要指示
自动刹车	无	有	自动刹车是机组的常用功能,放在简图页中有助于机组全面了解系统状态,因此建议放入简图页中	建议指示

续表 1

简图页指示项	波音 777	A320	分析内容	分析结论
机轮编号	无	有	对机轮进行编号后,有助于机组明确讨论的机轮对象	建议指示
单轮刹车故障	有	有	有助于机组了解系统刹车能力,能使机组按照刹车能力提前对降落跑道长度及飞机偏航状况做出判断	需要指示
单轮防滑故障	有	无	有助于机组了解系统防滑能力,能使机组提前判断可能会打滑(导致爆胎)的机轮	需要指示
刹车温度	有	有	1) 有助于机组了解刹车温度信息,对后续刹车操作提供帮助; 2) 波音 777 的温度指示形式更清晰,更便于机组理解	需要指示
轮胎压力	有	有	有助于机组了解轮胎压力信息,对后续刹车操作提供帮助	需要指示
刹车压力	无	无	1) 刹车压力指示有助于机组在执行任务前通过操作刹车并观察压力反馈判断刹车状态; 2) 当防滑系统关闭或故障时,有助于机组操作无防滑保护的刹车,防止机轮打滑(导致爆胎); 3) A320 的刹车压力指示在独立表盘中指示,建议放入简图页中指示并取消独立表盘	需要指示
蓄压器压力	无	无	1) 由蓄压器提供液压能源进行刹车时,蓄压器压力指示有助于机组了解剩余刹车能力; 2) A320 的蓄压器压力在独立表盘中指示,但实际上可以通过软件设置使刹车简图页按照飞行阶段自动跳出,此时就能把蓄压器指示表合并到简图页中。这样既满足机组的使用要求,也能满足适航条款中的要求(如适航条款中要求如果使用刹车蓄压器,必须要向飞行机组提供可用储备能量指示 <sup>[3]</sup> )	建议指示
刹车风扇	无	无	有助于机组了解每个机轮上的刹车风扇工作状态	需要指示

### 3 简图页设计优化

基于简图页设计需求和设计理念,以及对典型机型简图页设计的分析结果,提出一种优化方案,如图3所示。



注:① 刹车模式:指示正常/备份等刹车模式;② 防滑:指示防滑系统 ON/ OFF/ FAULT 状态;③ 自动刹车:指示自动刹车档位及故障状态;④ 停机刹车:指示停机刹车 ON/ OFF/ FAULT 状态;⑤ 刹车温度:指示单个机轮上刹车温度,当温度过高时图标颜色变化。每个刹车温度旁边对应实心方框,方框的颜色会随着温度数字颜色的变化而变化;⑥ 刹车风扇:指示单个机轮上刹车风扇 ON/OFF/FAULT 状态;⑦ 机轮编号:飞机沿航向从左侧到右侧依次为 1、2、3、4;⑧ 单侧刹车压力:指示左侧/右侧刹车压力;⑨ 蓄压器压力:指示刹车蓄压器压力;⑩ 轮胎压力:指示单个机轮上轮胎压力,压力过低或过高时图标颜色变化;⑪ 单个机轮刹车能力:指示单个机轮的刹车能力,当该机轮丧失刹车能力(如该机轮对应的伺服阀、压力传感器、轮速传感器等故障,或刹车压力无法释放/施加)时背景颜色变为红色。

图3 简图页设计优化方案

优化后的简图页从功能、性能两方面充分满足机组的使用需求。

功能方面分析如下:

(1)脚蹬刹车:通过踩踏/松开左侧或右侧刹车脚蹬观察对应的左侧或右侧刹车压力,判断刹车系统作动是否正常;

(2)自动刹车:指示自动刹车档位及故障状态;

(3)防滑保护:指示防滑保护的档位及故障状态在简图页上有对应指示;

(4)停机刹车:停机刹车的档位及故障状态在简图页上有对应指示;

(5)刹车降温:刹车风扇的档位及故障状态在简图页上有对应指示。

性能方面分析如下:

(1)单个机轮刹车能力:当某个机轮的控制电路、伺服阀、压力传感器或轮速传感器故障时,该机轮会丧失刹车能力,此时简图页上机轮的背景颜色会变红,提示该机轮丧失刹车能力;同时机组能够了解到剩余的刹车能力(譬如坏一个机轮时剩余 75% 刹车能力,坏两个机轮时剩余 50% 刹车能力),并且若左侧起落架与右侧起落架上的刹车能力不一致时可能导致刹车时飞机偏航,此时机组需要使用方向舵或前轮转弯对飞机航向纠偏。

(2)刹车温度:指示具体刹车温度。

(3)轮胎压力:指示具体轮胎压力。

(4)刹车压力:指示具体刹车压力。

(5)蓄压器压力:指示具体蓄压器压力。

此外,简图页上还能够显示更多的对机组提供帮助的信息。譬如目前大部分民机的刹车盘磨损程度需要通过磨损指针刻度进行确认,机组在每次飞行前必须要亲自去机轮旁观察刹车盘磨损指针刻度。如果将来能够将位移传感器用在刹车盘磨损指示器上,那么在座舱即可有刹车盘磨损状况显示<sup>[6]</sup>。这样只需通过查看简图页就能了解到磨损指针的数值,无需进行人工检查,减轻了机组的工作负担,提高了工作效率。

### 4 简图页优化方案对比

表2对比了优化方案与典型民航简图页设计。通过对比可见优化方案不但吸收了现有机型的设计优点,同时创新提出了新的设计方案。既满足设计需求,也更符合设计理念。

表2 简图页方案对比

对比项	波音 777	A320	优化方案
满足设计需求	满足	满足	满足
内容指示直观	较好	一般	较好
包含系统示意图	满足	满足	满足
状态确认简便	较好	一般	较好
辅助 CAS 操作	一般	一般	较好
系统状态完整性	一般	较好	较好

### 5 结论

简图页不但功能重要且设计复杂。在其设计过程中要同时考虑到对设计需求的满足以及对设计理

念的符合。通过分析典型民用飞机刹车系统的简图网页设计,提出一种新型简图页设计方案。优化后的简图页更加高效合理,且便于机组操作使用。

#### 参考文献:

- [1] 姚新斌. 民用飞机机组告警系统设计研究[J]. 科技创新导报,2012(27): 14-15.
- [2] Society of Automotive Engineers. Guidelines for development of civil aircraft and systems; SAE ARP 4754A[S]. USA; Society of Automotive Engineers, 2010.
- [3] 中国民用航空总局. 中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准; CCAR-25-R4[S]. 中国: 中国民用航空总局, 2001.
- [4] Society of Automotive Engineers. Flight deck panels, con-

trols, and displays, annexes; SAE ARP 4102[S]. USA; Society of Automotive Engineers, 1988.

- [5] 吴华伟, 闫如刚, 许炳, 等. 飞机刹车系统的辅助安全措施[J]. 航空标准化与质量, 2014(1): 33-38.
- [6] 何永乐. 航空机轮和刹车装置状况监控技术的发展[J]. 航空科学技术, 2000(5): 34-36.

#### 作者简介

**赵 晖** 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 民用飞机起落架刹车系统研发。E-mail: zhaohui@comac.cc

**易子淳** 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 民用飞机机载软件研发。E-mail: yizichun@comac.cc

**章光灿** 男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 民用飞机起落架刹车系统研发。E-mail: zhangguangcan@comac.cc