

# 采用被动侧杆的民机设计中 的人为因素考虑

## Human Factor in the Passive Sidestick Design for Civil Airplanes

李 林 王 镭 / Li Lin Wang Lei

(上海飞机设计研究院, 上海 200235)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 200235, China)

### 摘 要:

与中央杆/盘或主动侧杆相比,被动侧杆的最大缺陷在于缺乏反驱装置,进而产生人-机交互信息以及主/副驾交互信息的缺失,增加了人为差错的出现概率;被动侧杆由于缺乏力反馈,会造成飞行员对触觉这一最直接信息的缺失,进而影响人-机操纵权限的分配。在民机设计中,可以考虑在被动侧杆上添加模式切换按钮,从而在保持飞行员超控权限和提供有效包线保护这两者间找到最佳平衡点。被动侧杆由于缺乏反驱装置,无法实现左、右侧杆的联动,因此更容易出现叠加操纵。在民机设计中,应当从视觉、听觉、触觉全方位对叠加操纵进行提示,同时借鉴已有的接替操纵操作程序,以提高飞行员的适应性。

**关键词:**人为因素;被动侧杆;超控;叠加操纵

[**Abstract**] Comparing with the central stick/wheel or the active sidestick, the major disadvantage of the passive sidestick is the lack of back-drive mechanism, which leads to the loss of human-machine interactive information and the pilot/copilot interactive information, hence increasing the possibility of human errors. Without the feedback force from the sidestick, pilots have no direct tactile information, which will affect the distribution of human and machine control authority. In the design of civil aircrafts, it is suggested that a control mode switch be added to the passive sidestick, to make a balance between keeping the pilot's override authority and providing the effective envelope protection. Since there is no linkage between the left and right sidesticks, unfavorable dual inputs will more likely occur. In the design of civil aircrafts, it is suggested that the visual, aural and tactile cues should be provided to the pilots synthetically, and the use of existing successful takeover operating procedure to increase the pilot's adaptability.

[**Key words**] Human Factor; Passive Sidestick; Override; Dual Input

## 0 引言

飞行控制系统作为人-机交互界面中的核心部分,负责直接接收飞行员输入的操纵指令。随着电传操纵系统逐渐取代常规机械式操纵系统,飞行控制系统的形式也在发生着改变。采用电传操纵系统后,飞行员不再通过直接指令舵面偏转来操纵飞机,而是给飞控系统施加指令,由飞控计算机解算得到舵偏指令,从而使飞机实现预期的响应。此时,飞行员更像是飞行的管理者而非操纵者,操纵力/位移都更小的侧杆来取代常规中央杆/盘,成为

操纵指令的接收器。F-16、A320 作为军机和民机中首次采用电传操纵系统和侧杆的机型,带来了各自领域内操纵方式的变革。

就民机应用而言,侧杆相对中央杆/盘最大的优势是其占用空间小,由此带来了一系列好处:如有利于采用最佳眼位、扩大舱内外视界、改善了前方显示器的可视性、有利于扩大仪表板上的可用空间、便于操纵前方控制按钮、增加了飞行员的活动空间等;同时,采用侧杆还有利于减轻操纵器件重量,降低维护成本;此外,侧杆输入量小的操纵方式也在一定程度上减轻了飞行员的工作负荷,提升了

飞行员的操作舒适性<sup>[1]</sup>。

由于民机对系统、设备的可靠性、成本等要求更高,具有力反馈的主动侧杆尚未应用到民机型号研制中,因此目前民机采用的均为被动侧杆。与中央杆/盘或主动侧杆相比,被动侧杆的最大缺陷在于其缺乏反驱装置,进而产生人-机交互信息以及主/副驾交互信息的缺失,增加了人为差错出现的概率<sup>[2]</sup>。本文将探讨如何在民机设计中针对被动侧杆的操纵特点,考虑人为因素的影响,从而减少/避免由于其固有缺陷造成的人为差错。

## 1 人-机交互关系的设计

飞行员作为人-机闭环系统中的一环,在飞行中需要综合视觉、听觉、触觉等多方位的信息反馈来完成操纵决策。由于人脑在同时处理多方位信息方面存在自然限制,因此在一些紧急情形下(如飞机处于飞行包线边缘),人-机交互界面需要尽可能以最直接的方式为飞行员提供最关键的信息,从而便于飞行员及时、准确地完成决策。飞控系统作为人-机直接交互的物理界面,在接受飞行员操纵指令的同时,也要尽可能为飞行员提供必要的触觉反馈<sup>[3]</sup>。被动侧杆由于缺乏力反馈,其杆力、杆位移无法随飞行状态变化而变化,会造成飞行员对触觉这一最直接信息的缺失,进而影响到人-机交互关系的设计理念,即人-机操纵权限的分配。

以波音和空客为例,作为大型客机领域中的双巨头,波音和空客的电传操纵飞机采用了不同的飞行控制系统:波音 777 和 787 飞机均采用传统的中央杆/盘,而空客的电传客机均沿用了 A320 的被动侧杆。相应地,波音的设计理念为“软限制”,即当飞机接近飞行包线边界时,飞控系统只是通过增加杆力梯度来给飞行员以提醒(当然也可能有语音或显示提示),并不限制飞行员继续操纵(即飞行员拥有超控权限)飞机,此时如果飞行员施加更大的操纵力,则飞机将继续响应飞行员的操纵指令进而可能超过飞行边界;相比之下,空客的设计理念为“硬限制”,即飞控系统具有最高操纵权限,当飞机接近或达到飞行包线边界时,飞控系统会自动产生相应的保护指令或恢复指令,此时即使飞行员继续施加操纵意图超越飞行边界,飞控系统也会进行干预限制,从而保证飞机一直处于设置的飞行包线内。

当然,采用何种操纵装置以及采取何种设计理念,这两者是相互影响的。对于民机设计而言,这些选择更需考虑现有机组的操纵习惯、成本支出、市场接受度等多方面因素。不过,对于飞行员而

言,显然不希望其操纵权限受到限制,尤其是在某些紧急情形下,可能需要飞行员超控飞机以发挥最大的性能<sup>[4]</sup>;而被动侧杆由于杆力较小、没有力反馈,且电传飞机采用放宽静稳定性设计后稳定裕度和机动裕度较小,飞行员容易因人为差错而操纵过量,以致超出飞行包线。空客采用功能复杂、考虑周全的飞控系统来控制律来实现最终控制,其设计理念和设计方案随着设计经验积累而不断完善;同时,飞行小时的累积也增强了飞行员对其功能、性能、可靠性等方面的信心。

对于人工超控,由于在设计中不可能考虑到所有可能因素或情形的影响,因此在采用被动侧杆的民机设计中,最好在保持飞行员超控权限和提供有效的包线保护这两者间找到平衡点,即综合目前硬限制和软限制设计的优势,既要提供全面的包线保护,又要允许飞行员可以超控,从而获得最大可用性能。就超控方式而言,可以考虑在被动侧杆上添加模式切换按钮,飞行员在紧急情况下无需偏离视线即可将飞控系统从正常模式切换到直接模式,从而取消在正常模式下的“硬限制”,确保飞行员在紧急状态下具有最高权限。

被动侧杆除无法提供触觉反馈(力反馈)外,由于没有反驱装置,在释放后会自动回中,而无法像中央杆/盘一样,在自动驾驶仪工作时随动偏转,因此其无法给飞行员以视觉提示。CCAR25.1329(b)针对自动驾驶仪系统作出规定<sup>[5]</sup>:“除非有自动同步装置,否则每个系统必须有设施,向驾驶员及时指示作动装置与受其驱动的操纵系统是否协调。”因此,对于采用被动侧杆的机型,飞行员需通过舱外视景、显示屏、指示灯以及过载等信息来综合判断自动驾驶仪的工作状态。相对而言,被动侧杆无法自动同步对于实现自动驾驶仪和飞行员操纵之间的快速接替及平滑过渡是不利的。

此外,由于飞行员只能通过视觉、听觉、过载等相对间接的补充信息来获取反馈,因此侧杆的操纵相对依赖于对飞机响应的经验判断。在一些不常见的飞行状态下,如遭遇强紊流或大侧风时,飞行员由于缺乏“手感”,基于经验的预见性操纵会减少,此时需要作更多试探性操作,通过飞机的响应趋势来进一步采取措施,这也在一定程度上加大了飞行员的适应难度<sup>[6]</sup>。

## 2 主/副驾交互关系的设计

对于使用常规中央杆/盘的民机而言,其左、右杆/盘具有机械联动装置。该联动装置作为主/副

驾最直接的交互界面,可以通过视觉和触觉为飞行员实时提供对方的操纵信息,从而有助于主/副驾驶分工、协调及相互接管;而被动侧杆由于缺乏反驱装置,无法实现左、右侧杆的联动,因此主/副驾驶之间缺乏最直接、有效的交互界面,因此相比中央杆/盘更容易出现叠加操纵。叠加输入可能会降低飞行员的敏感性,影响侧杆操纵精度,严重时甚至可能威胁飞行安全。

空客公司结合自身经验,将叠加操纵划分为如下三类:

1)虚假的叠加操纵:如 PM(监控飞行员)无意触碰到侧杆,飞机反应短暂而迅速,但幅度较小;

2)舒服的叠加操纵:如在进近、拉平或截获过程中,PM 为使飞机的响应更接近自身预期从而感觉舒服点,有时也会同时施加一些操纵,而 PF(操纵飞行员)可能无法察觉。如果 PM 的操纵幅值较小且持续时间较短,则对飞行影响不大,而且 PF 可能会作出抵消的动作,因此这种干涉意义不大;但是,如果叠加操纵持续时间较长,即使干涉输入量很小,也可能产生难以预测的后果;

3)本能的叠加操纵:如 AP 意外断开、飞机接近飞行包线边界、在起飞或拉平等机动中遇到突发干扰等,PM 可能会产生一些本能的操纵输入。这种干涉的严重程度取决于侧杆的偏出时间和偏离量,在某些情形下可能会容易出现过度操纵。

为避免出现叠加操纵,空客和用户采用了一系列措施:在设计上,制定了“接替操纵标准操作程序”,设计了叠加操纵提醒警告措施<sup>[7]</sup>;在管理上,加强对飞行员进行适应性培训,并将叠加输入纳入飞行品质监控范围。虽然以上举措还无法根除叠加操纵,但显著降低了此类现象的出现概率。

在采用被动侧杆的民机设计中,叠加操纵依旧是需要重点考虑的人为因素,这方面可以借鉴现有机型的实践经验。关于叠加操纵的提醒警告措施,空客系列电传飞机早期采用先显示提醒,后声音警告的方式,后来又增加了振杆提示,即当 PM 接替操纵时,被接替的 PF 会收到短暂的振杆提示。考虑到触觉是飞行员最直接、有效的信息来源,在此类民机设计中要综合触觉、视觉、听觉等多方位信息提示,让飞行员及时发现并避免叠加操纵;此外,针对此类机型的接替操纵操作的程序设计,建议参考 A320 等成熟机型,以提高飞行员的操纵适应性,从而降低技术风险及培训成本。

此外,主/副驾驶交互界面的不同也会影响飞行员的培训方式。对于采用中央杆/盘的机型,教员

可以进行操作示范,学员可以直接感受教员的动作要领;而对于采用被动侧杆的机型,由于左、右被动侧杆无法联动,学员无法直接感受教员的示范输入,因此在实际的教学飞行中,教员主要通过语音提醒的方式来进行培训,同时在必要时通过按压接替按钮来接替操作,而学员的反馈则主要来自飞机的响应,这种间接的感受在一定程度上增加了带飞的难度。

### 3 结论

与中央杆/盘或主动侧杆相比,被动侧杆由于缺乏反驱装置,导致飞行员难以通过最直接的途径来感知飞行状态、同伴操纵输入状态以及自动驾驶仪工作状态等多方位交互信息,进而增加了人为差错的出现几率,给飞行安全造成了隐患。因此在采用被动侧杆的电传民机设计中,需要从人为因素的角度来采取针对性的改善措施,从而及时、有效地为飞行员提供反馈信息。

在我国电传民机设计中,一方面要借鉴现有成熟机型的成功经验,提高飞行员适应性,进而降低技术风险和培训成本;另一方面,也需要基于自身特点,采取一些具有针对性的创新设计来加以完善,从而更加符合飞行员的操纵习惯,减少或避免人为差错的发生,提高飞行安全。

#### 参考文献:

- [1]熊端琴,郭小朝,陆惠良,郑伟. 飞机侧杆驾驶装置的优缺点及其改进设计探讨[J]. 人类工效学, 2006, 12(1):36-38.
- [2] Dietrich H, Christian H. Active sidestick technology - a means for improving situational awareness[J]. Aerospace Science and Technology, 1999(3):525 - 532.
- [3]Federal Aviation Administration Human Factors Team. The Interfaces Between Flight crews and Modern Flight Deck Systems[R]. 1999.
- [4]Airworthiness Performance Evaluation and Certification Committee. Pilot Authority and Aircraft Protections[R]. Air Line Pilots Association, 1999.
- [5]CCAR25-R3. 中国民用航空规章第 25 部:运输类飞机适航标准[S]. 中国民用航空总局, 2001.
- [6]金昌明. 浅谈电传操纵系统飞机的侧风修正量度的掌握[EB/OL]. 2008-10-21. <http://news.carnoc.com/list/116/116750.html>.
- [7]Airbus. A319 飞行机组操作手册[M]. 法国:空中客车公司, 2005.