

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2023.03.005

民用飞机地面方向控制架构综述

王永杰* 汤超 张莘艾 杨鹏

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘要: 地面方向控制是飞机一项重要的综合性功能,在设计过程中需要从飞机顶层出发开展架构设计,其架构的优劣直接影响到飞机的竞争力和安全性。首先,开展地面方向控制功能运行场景分析,该功能一般在推出/牵引和启动、滑出、起飞、着陆和滑入阶段运行,在不同的场景所采用的地面方向控制方式不同。其次,对比分析波音 737、A320、波音 787 及 A350 四款主流机型的地面方向控制架构,发现 A350 在控制方式上与其他机型有较大不同,新增刹车踏板控制前轮转弯、刹车踏板控制方向舵、转弯手轮控制差动刹车、脚踏控制差动刹车的控制方式。之后,分析民用飞机地面方向控制架构设计要点,认为在地面方向控制架构设计过程中应重点考虑脚踏卡阻/失效及方向舵卡阻/失效场景,使设计结果满足适航要求。最后,对 3 种地面方向控制方式进行了权衡分析,并给定了一种推荐的地面方向控制方式。

关键词: 地面方向控制;民用飞机;飞机架构

中图分类号: V221⁺.7;V37

文献标识码: A

OSID:



0 引言

地面方向控制功能一般指飞机在地面的滑行或滑跑过程中,控制飞机前进方向的能力。若飞机在运行过程中完全丧失地面方向控制能力或丧失部分重要的地面方向控制方式,尤其是在高速情况下,往往会产生灾难性的影响^[1-4]。为了使飞机满足安全性要求,定义合理的地面方向控制架构尤为重要。

1 民用飞机架构描述

民用飞机架构定义与确认是飞机结构及系统设计实现中的重要活动,也是飞机结构及系统实施过程的第一步工作,其最主要的意义是确保在所有可行方案与权衡中,选定最合适的飞机架构以保证最终集成,并为后续设计方案提供主要设计依据。飞机架构是对飞机系统/组件的组成、接口以及运行状态的一种表达,其一般包含四项关键要素,具体为飞机物理组成、主要特征、运行逻辑

辑和关键接口。

现代民用飞机架构的设计,一般采用基于功能与需求的自上而下的研发流程^[5-7]。在设计过程中,往往会存在满足上游需求的多种候选架构,因此需要对多种架构进行权衡分析。本文将民用飞机架构定义及确认分为 5 个过程,如图 1 所示,下面对这 5 个过程分别进行简述:

1) 确定飞机候选架构过程,主要根据已确认的飞机级需求,结合飞机设计目标与要求定义的技术要求,综合考虑飞机机体结构新材料、新技术、新工艺的研发与供应情况,机载系统产品研发与供应情况,以安全性、可靠性、可操作性、设计成熟度为约束目标,定义可供候选的飞机架构。

2) 飞机架构多学科评估与评价过程,主要根据飞机候选架构权衡技术要求所定义的范围(指标)和不同指标具体的颗粒度和权重要求,针对潜在的飞机架构进行多学科评估。

3) 定义、集成、选择和验证飞机架构过程,基于候选的飞机架构和飞机权衡要求,依据架构权衡

* 通信作者. E-mail: wangyongjie@comac.cc

引用格式: 王永杰,汤超,张莘艾,等. 民用飞机地面方向控制架构综述[J]. 民用飞机设计与研究,2023(3):28-36. WANG Y J, TANG C, ZHANG X A, et al. Review on controlling direction on ground for civil aircraft architecture[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2023(3):28-36 (in Chinese).

分析的结果(必要时考虑飞机设计变更的要求),最终定义、集成、选择最佳的飞机架构。

4) 确认飞机架构过程,在完成架构权衡、综合、集成、选择和验证之后,飞机总工程师及设计团队对经验证的飞机架构的最终认可,形成冻结状态的飞机架构,确保在架构设计验证期间执行的产品技术基线(产品需求基线 and 设计定义基线)和技术一致性是有效的,所有描述已验证飞机架构的相关数据均受控于构型管理。

5) 定义和确认飞机需求对架构的分配过程,根据已经确认的飞机架构或飞机需求变更请求,将需求分配给飞机部段及系统组件(如系统工作包含相应的子系统)。

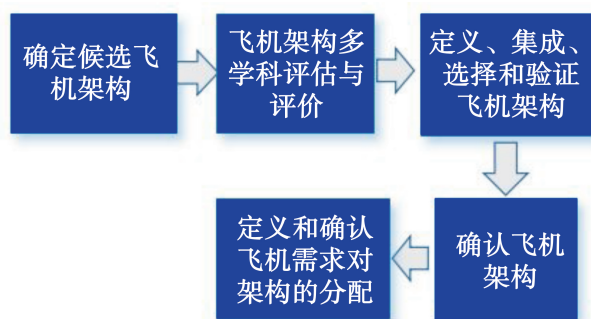


图1 民用飞机架构设计过程

2 民用飞机地面方向控制功能运行场景分析

民用飞机地面方向控制示意图如图2所示。地面方向控制通常包括起落架转弯控制方向、方向舵控制方向以及不对称使用刹车(差动刹车)控制方向。

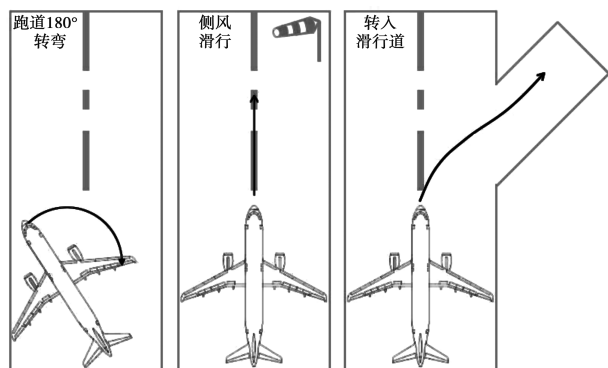


图2 民用飞机地面方向控制示意图

传统的飞机地面方向控制的方式如图3所示,

主要的原理为:

1) 通过转弯手轮控制前起落架机轮偏转,以产生相对于重心的偏航力矩以改变飞机航向,由转弯手轮控制的前起落架机轮偏转角度一般较大;

2) 通过脚蹬控制前起落架机轮偏转,以产生相对于重心的偏航力矩以改变飞机航向,由脚蹬控制的前起落架机轮偏转角度一般较小;

3) 通过脚蹬控制方向舵偏转,当飞机有一定的前飞速度时可产生相对于重心的偏航力矩以改变飞机航向,由脚蹬控制方向舵偏转产生的偏航力矩与飞机前飞速度有较大关联,前飞速度较小时,方向舵控制飞机航向的能力微小,随着前飞速度的增大,方向舵控制飞机航向的能力不断增加;

4) 通过不对称的控制刹车踏板,以控制左、右主起落架产生不对称的刹车力从而产生相对于重心的偏航力矩以改变飞机航向,需要注意的是由不对称的控制刹车踏板控制飞机航向的方式,同时会对飞机速度产生一定的影响。

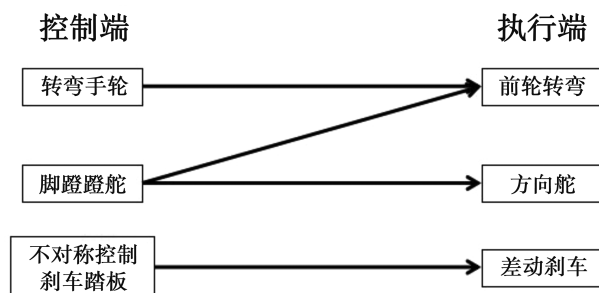


图3 传统飞机地面方向控制方式

依据参考文献[8]~[10]中的飞行阶段定义,地面方向控制功能应在推出/牵引和启动、滑出、起飞、着陆和滑入阶段运行,飞行阶段与地面方向控制功能对应表如表1所示。

该功能与空中控制飞机航向不同,由于飞机横航向控制耦合的特点,飞机在空中可通过控制滚转以产生偏航运动。然而,当飞机接近地面时大角度的滚转是非常危险的。此外,飞行员理论上还可以通过使用不对称的正推力或反推力的方式来调整飞机航向,然而这种操作较多地依赖于飞行员的操纵经验和技巧,因此在架构设计过程中不应考虑不对称推力对飞机方向控制能力的贡献。

表 1 飞行阶段与地面方向控制对应表

运行阶段	阶段描述	地面方向控制功能描述
推出/牵引和启动	自飞机不依靠自身动力受牵引力作用从廊桥、机坪或停机位等机场活动区移动起,至飞机开始依靠自身动力移动前	飞机前轮处于自由转向模式(旁通模式),拖车给飞机施加作用力以控制前轮转向,最终控制飞机方向
滑出	自飞机依靠自身动力离开廊桥、机坪或停机位等机场活动区起,至达到起飞位置	若飞行员有转弯的需求,那么飞行员可通过以下方式控制飞机方向: a) 转弯手轮控制前轮转弯角度(主要方式); b) 脚蹬控制前轮转弯角度; c) 差动刹车控制飞机方向
起飞	自机组松刹车、为实际起飞而使用动力时起,经滑跑加速至离地速度	若遇到侧风等情况飞机偏离跑道中心线,那么飞行员可通过以下方式控制飞机方向: a) 脚蹬控制方向舵偏转角度(主要方式); b) 脚蹬控制前轮转弯角度; c) 差动刹车控制飞机方向
着陆	自飞机接地,直至滑离跑道或在跑道停止	若遇到侧风等情况飞机偏离跑道中心线,那么飞行员可通过以下方式控制飞机方向: a) 脚蹬控制方向舵偏转角度(主要方式); b) 脚蹬控制前轮转弯角度; c) 差动刹车控制飞机方向; d) 转弯手轮控制前轮转弯角度(低速)
滑入	自离开跑道,直至依靠自身动力滑行	若飞行员有转弯的需求,那么飞行员可通过以下方式控制飞机方向: a) 转弯手轮控制前轮转弯角度(主要方式); b) 脚蹬控制前轮转弯角度; c) 差动刹车控制飞机方向

3 民用飞机地面方向控制架构

与地面方向控制功能相关的系统主要为飞控系统、起落架系统、刹车系统、综合模块化航电系统、电源系统及液压系统。本节将针对具有代表性的波音 737、A320、波音 787 及 A350 四款主流机型的地面方向控制架构展开分析。本文所给出的上述四种机型的地面方向控制架构为经提炼与经验总结的逻辑架构。逻辑架构为实际物理架构的抽象,可表现物理架构的关键特征。

3.1 波音 737 系列飞机的地面方向控制架构

波音 737 系列飞机是目前最畅销的窄体客机,该系列飞机经历了几十年的发展在不断的革新。波音 737 系列飞机的地面方向控制逻辑架构如图 4 所示。

图中,HSA、HSB 分别为液压系统 A、液压系统 B;PCU 为动力控制组件。该飞机地面方向控制方式与图 3 中的传统控制方式相同,下面对几种方式

分别阐述:

1) 前起落架机轮偏转采用机械控制的方式实现,前轮转弯作动的动力源为液压。转弯手轮与方向舵脚蹬都可以控制前起落架偏转,波音 737NG 通过机械的比较杆实现两个控制源控制一个目标。当同时存在手轮与脚蹬的控制输入时,手轮的控制超控脚蹬的控制。

2) 方向舵偏转采用机械控制的方式实现,方向舵作动的动力源为液压。

3) 机轮刹车采用机械控制的方式实现,机轮刹车作动的动力源为液压。

该机型在前轮偏转、方向舵偏转与刹车方面均有两套液压源,当一套液压源失效时可保证控制仍可用。

3.2 A320 系列飞机的地面方向控制架构

相比于波音 737 系列飞机,A320 系列飞机引入了更多的电传操控方式和控制计算机。A320 的地面方向控制逻辑架构如图 5 所示。

图中,FAC 为飞行增稳计算机;ELAC 为升降舵副翼计算机;BSCU 为刹车和转弯控制单元。与波音 737 不同的是 A320 地面方向控制有三套液压源,分别用不同颜色表示。该飞机地面方向控制方式与图 3 中的传统控制方式相同,下面对几种方式分别阐述:

1) 前轮转弯由液压作动筒操纵,绿液压系统向作动筒供压。转弯控制装置通过电信号控制作动筒。方向舵脚蹬控制前轮转弯的信号通过 ELAC 处理后发送给 BSCU,BSCU 综合转弯手轮的信号与方向舵脚蹬的控制信号计算前轮转弯指令。

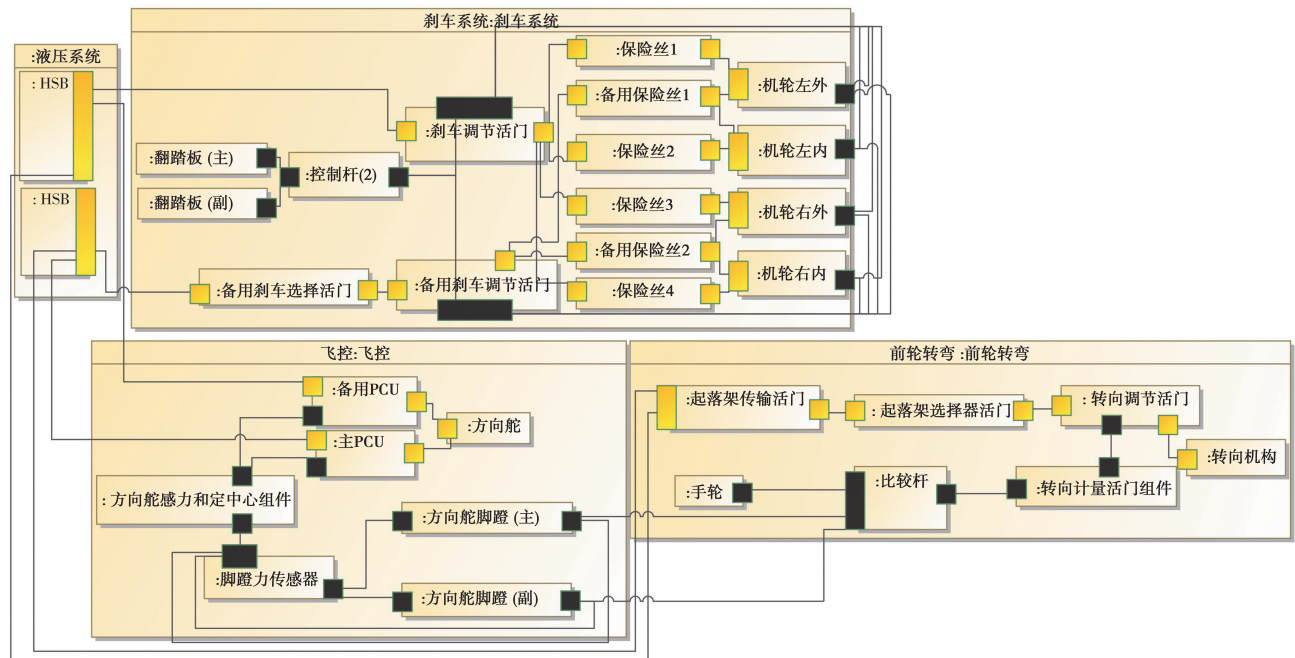


图 4 波音 737NG 地面方向控制逻辑架构

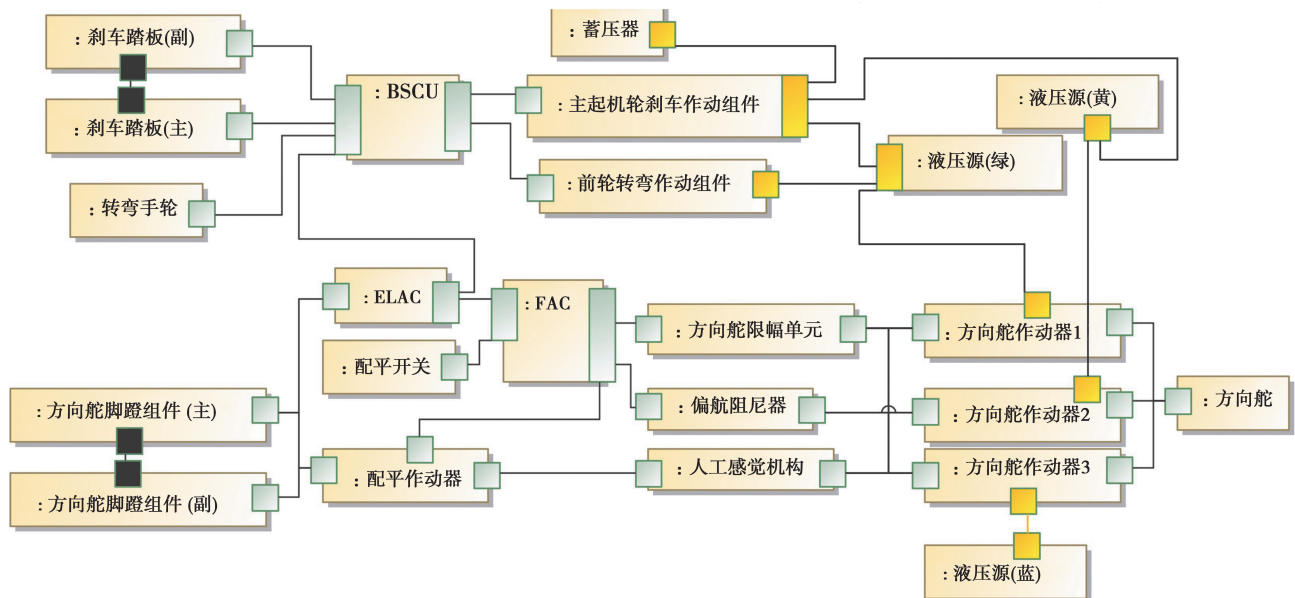


图 5 A320 地面方向控制逻辑架构

2) 正常刹车系统使用绿液压系统,备用刹车系统使用黄液压系统,当黄与绿两套液压系统均为低压状态时液压蓄压器提供备份。刹车踏板对机轮刹车的控制通过电传方式实现。

3) 其偏航轴的操作综合了机械与电传的方式。方向舵脚蹬对方向舵的直接控制通过机械控制的方式实现,而其中方向舵的限幅与偏航阻尼通

过 FAC 发送电信号以驱动相应的作动器实现。方向舵有三个作动单元,它们分别由三套液压系统供压。

3.3 波音 787 系列飞机的地面方向控制架构

波音 787 是首款超远程中型客机,其采用了多电的架构设计。波音 787 的地面方向控制逻辑架构如图 6 所示。

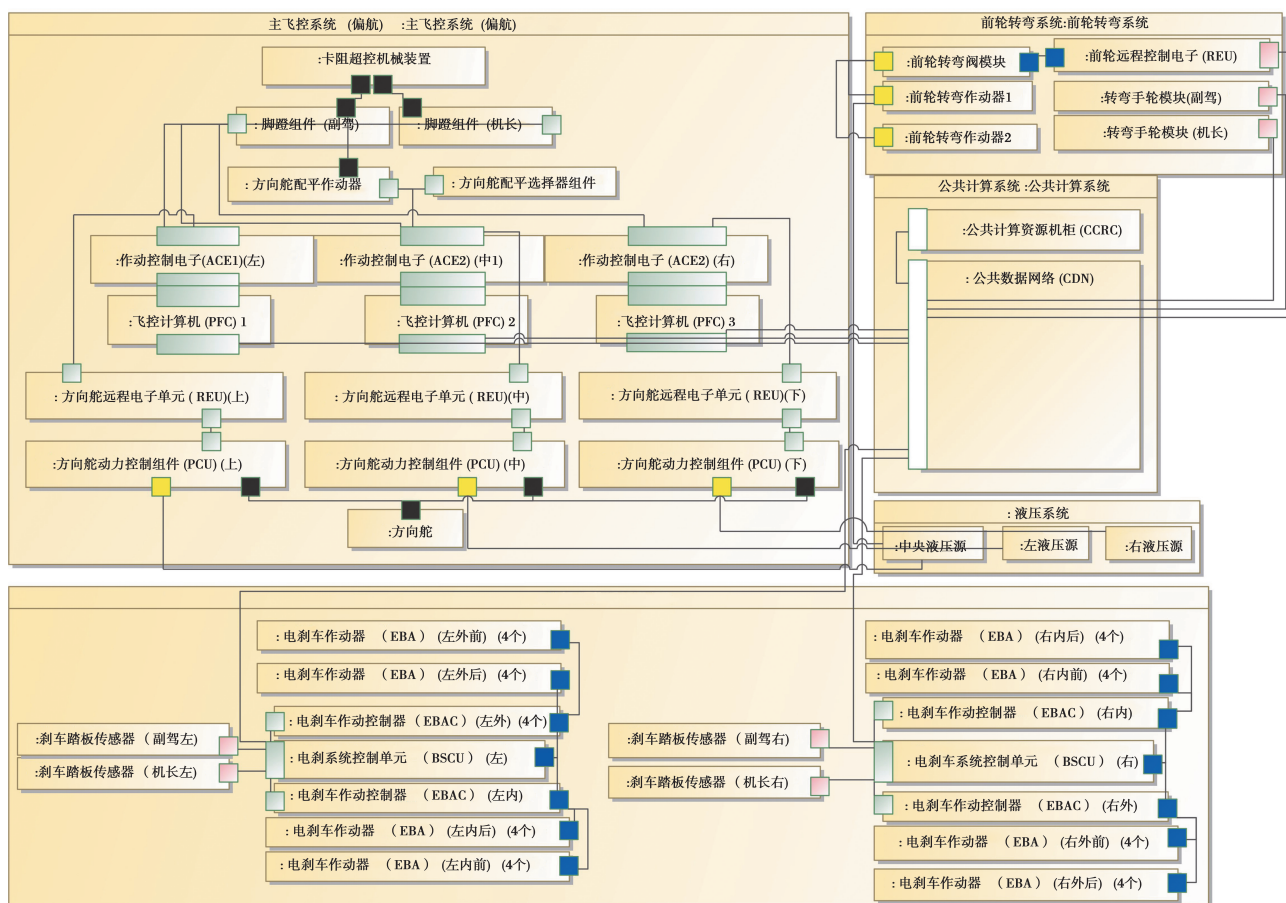


图 6 波音 787 地面方向控制逻辑架构

波音 787 飞机有三套分别独立的液压系统,分别为左、右和中央液压系统。该飞机地面方向控制方式与图 3 中的传统控制方式相同,下面对几种方式分别阐述:

1) 前轮转弯系统使用中央液压源,前轮转弯角度指令的计算在综合模块化航电系统中计算,不再有单独的前轮转弯指令计算机。方向舵脚蹬和转弯手轮的控制指令通过数据处理后发送到公共数据网络 CDN 上,综合模块化航电系统的公共计算资源机柜 CCRC,综合方向舵脚蹬和转弯手轮的指令计算前轮转弯指令,最后通过转弯阀模块进行伺

服控制。

2) 刹车采用了电作动的方式替代了传统的液压作动。与前轮转弯不同,刹车控制指令采用独立的刹车系统控制单元 BSCU 计算。刹车系统控制单元 BSCU 会将相关的信号发送到公共数据网络 CDN 用于显示、告警和记录。

3) 偏航轴采用电传、液压作动的方式。方向舵偏转指令在主飞控计算机 PFC 中进行计算。具备卡阻超控机械装置,当一侧发生脚蹬卡阻故障后,另一侧的飞行员可通过用力控制脚蹬来克服卡阻从而保持对飞机的航向操纵。

3.4 A350 系列飞机的地面方向控制架构

A350 系列飞机具有非常强大的计算系统,其通过复杂的控制逻辑设计以提高飞机的安全性,同时降低飞行员的操作负担。在大多数的民用飞机上,一般有三套液压系统,以确保飞行操纵和起落架系统足够的裕度。在 A350 飞机上,为减小飞机

重量和维护成本,仅使用了两套液压系统(黄、绿)。为了使飞机具备相当的安全裕度,其采用了电动-液压作动器,通过电源来产生液压压力以驱动作动器。

A350 系列飞机地面方向控制逻辑架构如图 7 所示。

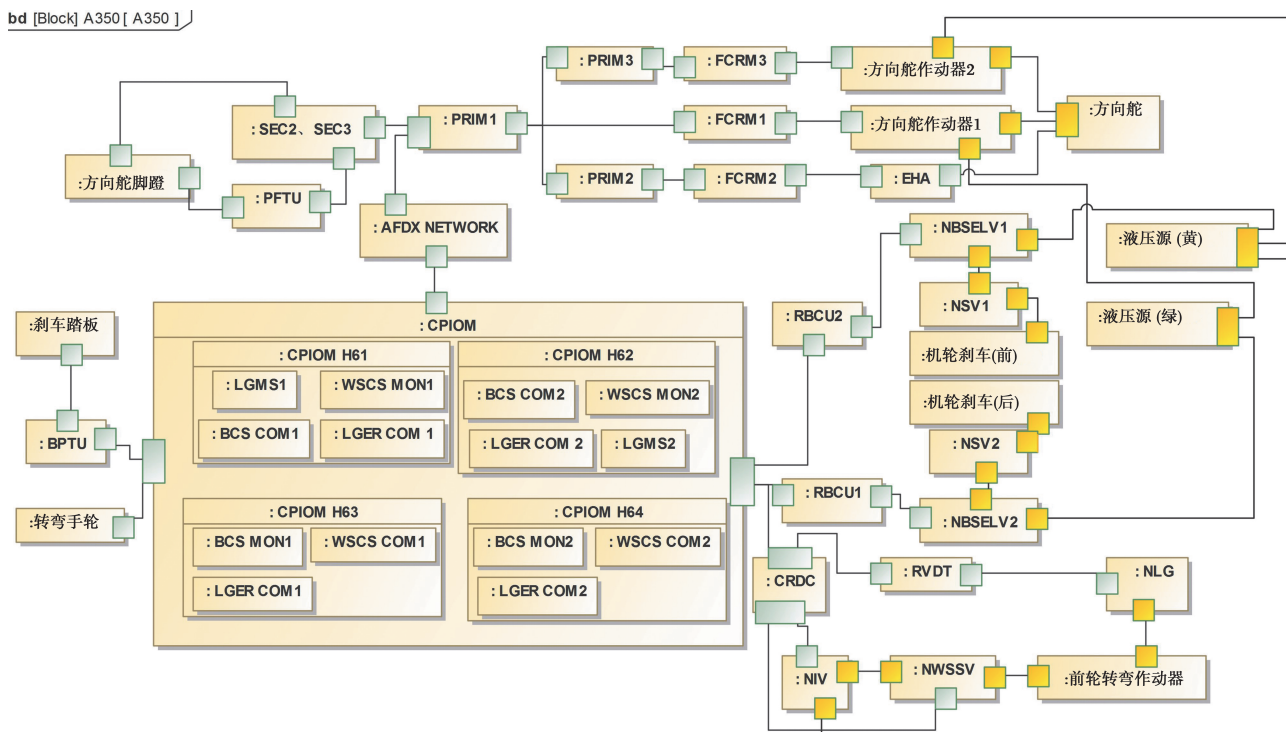


图 7 A350 飞机地面方向控制逻辑架构

图中, PFTU 为踏板感觉和调整组件; BPTU 为刹车踏板转换组件; PRIM 为主飞行计算机; SEC 为次要飞行操纵计算机; FCRM 为飞控远程模块; EHA 为电动-液压作动器; BCS 为刹车控制系统; WSCS 为机轮转弯操作系统; LGER 为起落架收放系统; LGMS 为起落架监控系统; COM 代表计算通道; MON 代表监控通道; CPIOM 为核心处理输入/输出组件; RBCU 为远程刹车控制组件; NBSELV 为正常刹车选择器阀; NSV 为正常伺服阀; CRDC 为通用远程数据集中器; RVDT 为角位移传感器; NIV 为前隔离阀; NWSSV 为前轮转弯伺服阀; NLG 为前起落架。该飞机地面方向控制方式与图 3 中的传统控制方式有较大不同,其地面方向控制方式如图 8 所示。

除了包含与传统相同的控制方式外,在满足某些条件后该飞机还可实现 4 种新的控制方式(图 8 中虚线部分),其中包括转弯手轮控制差动刹车、方

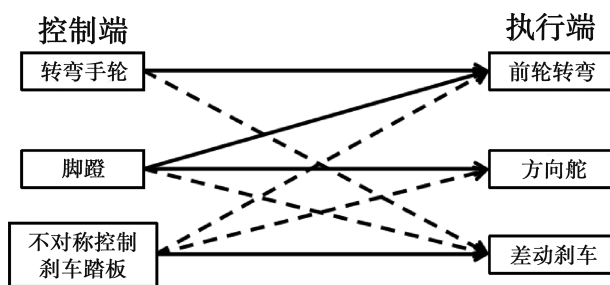


图 8 A350 飞机地面方向控制方式

向舵脚蹬控制差动刹车、刹车踏板控制前轮转向及刹车踏板控制方向舵^[18-19],下面对几种方式分别阐述:

1) 偏航轴采用电传、液压作动的方式。正常情况下由 PRIM1 计算偏航控制指令。在正常情况下飞行员通过脚蹬控制方向舵偏转,当飞机在地面、速度大于 50 kt、自动飞行未激活且差动刹车大

于 50% 时, PRIM 会基于差动刹车的指令控制方向舵偏转。该功能主要用于飞机在脚蹬卡阻/失效的情况下提高飞机的地面纠偏能力。

2) 前轮转弯系统使用黄液压源, 前轮转弯角度指令的计算在综合模块化航电系统中计算, 不再有单独的前轮转弯指令计算机。差动刹车控制前轮转弯的逻辑与差动刹车控制方向舵的逻辑类似。

3) 刹车采用电传、液压作动的方式。正常情况下的差动刹车通过刹车踏板控制, 当前轮转弯失效且前轮可以自由转动的情况下, 飞行员可使用备用转弯系统退出跑道, 备用转弯系统支持将手轮和脚蹬的转弯控制指令转换为差动刹车指令以控制飞机转向。

4 民用飞机地面方向控制架构设计要点

民用飞机架构设计过程应当采用正向设计的思路, 从需求出发定义架构。因此, 需求必须是完整的, 在需求定义的过程中必须首先综合考虑所有可能的飞机运行场景, 再对可能有安全性影响的场景进行分析并按需增加相应需求。CCAR25. 671 (c) 条款对飞机的继续安全飞行和着陆能力提出了要求, 针对影响继续安全飞行和着陆能力的飞行操纵系统和操纵面的故障或卡阻, 必须被证明是极不可能的或能够缓解的卡阻, 或是极不可能的故障的任意组合 (不能是单个故障)^[11]。下面列举了几项飞机地面方向控制功能在设计过程中, 容易被忽略的安全隐患, 但需要被重点考虑的场景:

1) 脚蹬卡阻场景。在起飞滑行前, 程序往往会要求机组脱离脚蹬对前轮的控制并蹬脚蹬以检查脚蹬对方向舵控制的有效性。然而当飞机起飞后, 由于飞行员在空中一般较少地使用脚蹬, 且脚蹬卡阻往往难以通过电信号进行检测。因此, 脚蹬卡阻故障被飞行员发现的时机往往较晚。同时, 在脚蹬卡阻场景下高速滑行时, 可能会同时丧失对前轮转弯和方向舵的控制, 且机械卡阻往往难以通过架构设计来降低失效概率。为提高安全性, 一般可通过其他控制方式补充此时不足的方向控制能力或将脚蹬卡阻设计为能够缓解的。

2) 脚蹬失效场景。与脚蹬卡阻场景类似, 此时可能会同时丧失对前轮转弯和方向舵的控制, 当

反推仅能对称使用时, 若采用图 1 所示的控制方式, 那么仅有差动刹车可用在高速时纠偏。相比于脚蹬卡阻, 为缓解脚蹬失效时的安全影响, 设计人员除了可以强化脚蹬失效时飞机的纠偏能力, 或将失效设计为能够缓解的, 还可以通过冗余设计以降低脚蹬失效的概率, 也可通过增加故障自检设计以提前告知机组。

3) 方向舵卡阻/失效场景。相比于脚蹬卡阻/失效的场景, 在方向舵卡阻/失效的场景下, 飞行员除了可以使用差动刹车在高速时纠偏, 往往还可以通过脚蹬控制前轮转弯的方式, 因此此时飞机的纠偏能力一般比脚蹬卡阻/失效时略强。但由于差动刹车能力往往受限于飞机减速能力的设计, 那么, 侧风着陆时仍可能存在一定的安全隐患。因此在架构设计时该场景也需要重点考虑。

5 民用飞机地面方向控制方式权衡

对各型号飞机地面方向控制方式进行总结, 可提炼出图 9 中的 3 种地面方向控制方式。

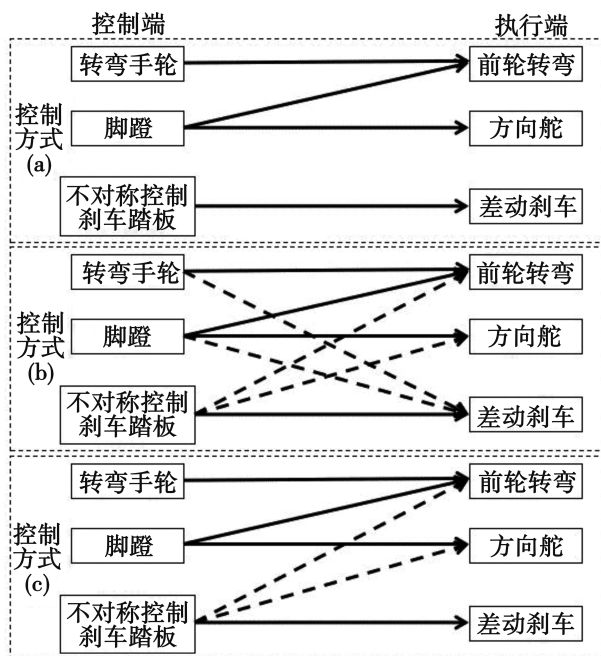


图 9 地面方向控制方式

控制方式 (a) 参考传统方式, A320、波音 737 及波音 787 均采用该种方式。该控制方式的优点为控制结构简单, 各控制链路之间耦合较少, 方向舵、刹车及前轮转弯控制指令的计算可分别在不同且独立的计算机中进行, 可在一定程度上避免共模失

效。该控制方式的缺点为无备份控制方式,当某一控制链路失效后,往往会导致飞机地面方向控制能力降低。尤其在脚蹬卡阻或失效场景下,高速时会同时丧失对前轮转弯和方向舵的控制,仅能采用差动刹车控制飞机方向,而差动刹车的方向控制能力一般较弱且控制较难。因此,若采用此种控制方式需要将脚蹬卡阻设计为能够缓解的,且应尽可能降低脚蹬失效的概率使其达到安全要求。

控制方式(b)参考了A350的控制方式。该控制方式的优点为具备充足的备份控制方式,当某一控制链路失效后,能有其他控制链路作为补充,可在一定程度上保证飞机在各场景下充分的地面方向控制能力。该控制方式的缺点为控制结构复杂,各控制链路之间耦合较多且控制逻辑十分复杂,在计算各控制指令时需要借助航电核心系统进行统筹计算,若航电核心系统失效或指令错误可能会导致飞机地面方向控制能力丧失或产生其他灾难性的影响。因此,若采用此种架构需要尽可能降低航电核心系统失效和错误的概率使其达到安全要求。

控制方式(c)在控制方式(b)的基础上删去转弯手轮及脚蹬对差动刹车的控制。转弯手轮及脚蹬对差动刹车的控制一般作为在前轮转弯控制失效时的低速方向控制方式备份。采用该方式的优点是不改变飞行员的操作习惯,在前轮失效后飞机还可以自主退出跑道而不需要太依赖于飞行员的操作技巧。然而,引入该控制方式会使控制结构变得过于复杂。在运营过程中,若出现前轮控制失效,那么机组可在着陆前请求拖车,也可实现安全退出跑道。相对于控制方式(b),控制方式(c)既可避免复杂的系统设计,也能具备足够的备份控制能力,因此推荐采用的控制方式(c)。

6 结论

1) 地面方向控制功能一般指飞机在地面的滑行或滑跑过程中,控制飞机的前进方向的能力。该功能所应用的飞行阶段一般包括推出/牵引和启动、滑出、起飞、着陆和滑入阶段,在不同的飞行阶段地面方向控制方式不同。

2) 分析了A320、波音737、A350和波音787系列飞机的地面方向控制架构。A320、波音737和波音787系列飞机的地面方向控制方式类似于传统的

控制方式,A350在传统的控制方式的基础上新增了刹车踏板控制前轮转弯、刹车踏板控制方向舵、转弯手轮控制差动刹车、脚蹬控制差动刹车的控制方式。

3) 分析了飞机地面方向控制功能在设计过程中,可能存在容易被忽略的安全隐患,即需要被重点考虑的场景,包括脚蹬失效场景、脚蹬卡阻场景和方向舵卡阻/失效。针对脚蹬卡阻场景,设计人员一般需要通过架构设计强化飞机的地面纠偏能力或使卡阻转化为能够缓解的。针对脚蹬失效、方向舵卡阻/失效设计人员还可以通过冗余设计降低失效概率,也可通过增加故障自检的方式提前告知机组。

4) 对3种地面方向控制方式进行了权衡分析,并给定了一种推荐的地面方向控制方式。

参考文献:

- [1] 霍志勤. 民航运输飞机偏出跑道原因分析及防范策略研究[C]//International Conference on Management Science and Engineering, October 1-2, 2011, Chengdu, China. [S. l.]: Information Engineering Research Institute, 2011.
- [2] 王浩锋, 谢孜楠. 1997-2006年中国民航冲出偏出跑道/场外接地事故征候的统计分析研究[J]. 中国民航飞行学院学报, 2008, 19(3): 3-14.
- [3] 孔祥骏. 冲偏出跑道事件预防研究[J]. 中国民用航空, 2009(9): 34-36.
- [4] Eurocontrol. A study of runway excursions from a European perspective: NLR-CR-2010-259 [R]. Belgium, Brussels: s. n., 2010.
- [5] COLE JR E L. Functional analysis-a system conceptual design tool[J]. IEEE transactions on aerospace and electronic systems, 1998.
- [6] ROMLI F I. Functional analysis for conceptual aircraft design[J]. Journal of Advanced Management Science, 2013, 1(4): 349-353.
- [7] Society of Automotive Engineers. Guidelines for development of civil aircraft and systems: SAE ARP4754A [S]. U. S.: Society of Automotive Engineers, 2010.
- [8] ICAO Common Taxonomy Team. Phases of flight definitions and usage notes[R]. Montreal: ICAO, 2010.
- [9] International Air Transport Association. IATA safety report 2013[R]. Montreal: IATA, 2013.
- [10] 中国民用航空局航空安全办公室. 运行阶段和地面阶段: AC-396-AS-2014-06[S]. 北京: 中国民用航空

局, 2014.

- [11] 中国民用航空局. 中国民用航空规章 第 25 部: 运输类飞机适航标准: CCAR-25-R4[S]. 北京: 中国民用航空局, 2011.

作者简介

王永杰 男, 硕士。主要研究方向: 民用飞机架构设计。E-

mail: wangyongjie@comac.cc

汤超 男, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 民用飞机架构设计。E-mail: tangchao1@comac.cc

张莘艾 男, 博士, 研究员。主要研究方向: 民用飞机需求。E-mail: zhangxinai@comac.cc

杨鹏 男, 硕士, 研究员。主要研究方向: 民用飞机起落架刹车设计。E-mail: yangpeng2@comac.cc

Review on controlling direction on ground for civil aircraft architecture

WANG Yongjie * TANG Chao ZHANG Xin'ai YANG Peng

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

Abstract: Controlling direction on ground is an essential and comprehensive function of aircraft, and architectural design needs to be carry out from the top level of the aircraft during the design process. The quality of its architecture directly affects the competitiveness and safety of the aircraft. Firstly, a scenario analysis of this function was carried out, which generally operated during tow, taxi out, takeoff, landing and taxi in. The different ways of controlling direction on ground were used in different scenarios. Secondly, by comparing and analyzing the controlling direction on ground of four mainstream aircraft types, Boeing 737, A320, Boeing 787 and A350, it was found that A350 has significant differences in control methods compared to the other types, with the addition of the control modes of nose wheel steering through brake pedal, rudder deflection through brake pedal, differential braking through tiller and differential braking through rudder pedal. Thirdly, the main points of civil aircraft architecture design were analyzed, and it was believed that the scenarios of rudder pedals jam/failure and rudder jam/failure should be considered in the process of the architecture design, so that the design result meet the airworthiness requirements. Finally, three kinds of controlling methods were traded off, and a recommended controlling method was given.

Keywords: control direction on ground; civil aircraft; aircraft architecture

* Corresponding author. E-mail: wangyongjie@comac.cc