

民用飞机飞行操作程序的开发和验证

Development and Verification of Flight Operation Procedure for Civil Aircraft

姚 渊 / Yao Yuan

(中国商飞民用飞机试飞中心, 上海 200232)

(Flight Test Center of COMAC, Shanghai 200232, China)

摘 要:

飞行操作程序的开发和验证是一项庞大而复杂的长期工作, 需要考虑的因素和问题很多。在实际型号程序开发经验和对大量资料研究的基础上, 系统地提出了一种民用飞机飞行操作程序开发和评估的基本方法, 对相关工作的指导性原则、设计方法、内容要求、关键要素和表现形式等进行了较为详细的说明。该方法主要着眼于程序设计本身, 是这方面工程经验和实践的再总结和提炼, 并力求对飞行操作程序开发工作起到有效指导作用。

关键词: 飞行机组; 操作程序; 驾驶舱设计; 机组资源管理; 人为因素

中图分类号: V24

文献标识码: A

[Abstract] The development and verification of flight operation procedure is a complex and long-term task, which may involve various factors and considerations. Based on the practice of the procedure development of an airplane and the research on related references, this paper systematically presents a basic methodology of flight operation procedure development and evaluation for civil airplane. The related principles, constitution requirements, key elements and formats were introduced in details. The methodology is established for the procedure design specifically, which is an integration and abstraction of knowledge and practices in the area. It will provide a useful and effective guidance for the flight procedure development.

[Key words] flight crews; operation procedure; cockpit design; crew resource management; human factors

0 引言

飞行机组操作程序开发的目的是提供安全、准确、高效和方便的飞行操作说明, 为飞行机组在飞机正常、非正常及紧急情况下操作飞机执行飞行任务提供指导。程序开发的依据是飞机(尤其是驾驶舱)设计理念、各系统设计原理、相关民航规章要求、类似型号机组操作程序、航空事故调查数据、制造商和运营人政策等。

程序开发相关的问题多而复杂, 目前研究大多集中在操作程序使用过程中发现的问题以及如何改进程序, 或者以机组资源管理、航空公司运行要求等角度来优化程序。本文主要着眼于程序本身和程序的原始设计, 重点讨论程序开发的基本原则和方法, 这对飞机主制造商如何进行飞行操作程序

的开发具有更多的价值, 航空公司也可借鉴参考。上述研究定位并没有排除本文提出的程序开发方法对于程序使用问题的充分考虑, 只是去除了不影响程序内容和表现形式的其他使用问题。

1 程序开发流程

如图 1 所示, 程序开发的过程大致可分为三个阶段: (1) 顶层设计阶段主要考虑飞机驾驶舱设计原则、运行政策、机组职责定位和程序设计的基本原则, 这些因素是进行程序设计的基石; (2) 在设计开发阶段, 分别从方法、内容和表现形式三个方面, 将程序具体设计工作中需要考虑的各种因素有机结合起来, 形成了一套相对完备的方法论; (3) 在审查验证阶段, 需要将开发组、局方、飞行员等不同角色的审查方式、关注点综合起来, 并通过对程序的

模拟机验证和试飞验证等,对程序进行完整的评估和确认。

通常程序开发相邻的两个阶段会有较大的重叠。另外,程序开发又是一个不断循环的迭代过程,下阶段发现的问题可能需要返回到上阶段,对一些原则或方法进行重新修订。

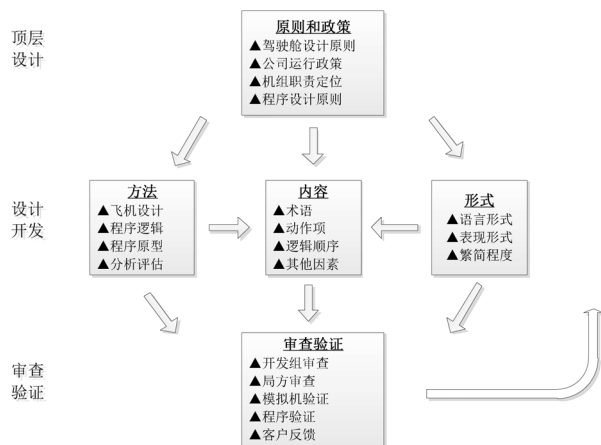


图1 程序开发的过程

2 原则和政策

2.1 驾驶舱设计原则

飞机的驾驶舱设计理念和操作原则会对程序设计产生极其重要的影响。好的理念和原则会使相关工作更加明晰和简单,设计出来的程序也更加友好。作为参考,以下列出了空客公司的驾驶舱设计原则:

(1) 依照操纵飞机、导航、通讯的顺序并适当分工;

- (2) 任何时候均应合理使用自动化;
- (3) 任何时候都要理解飞行模式指示状态;
- (4) 若与预期的不一致,采取行动。

2.2 公司运行政策

对于民用飞机制造商,在设计新型号时应根据其市场定位和目标客户需求,明确其预定的运行条件及策略。制造商应考虑的因素包括:

(1) 新理念的引入应使得飞行更安全、机组操作更简单,且符合正常的操作思维;

(2) 新型号的设计应该使其对目标客户群体原有技术和标准的改变最小;

(3) 新型号设计应符合国际民航通用技术标准及惯例;

(4) 新学员转到新型号,所需的训练应该尽可能少。

能少。

2.3 机组职责定位

在编制操作程序之前,应对各机组成员的职责有明确清晰的定位,并在合适的章节进行说明,包括机组成员在监控、确认和管理程序完成情况的职责,以及下达指令的目的和管理程序完成的方法。对于多人制机组,需要分清机长-副驾驶、把杆-监控、左座-右座、机长和副驾驶资质的区别:

(1) 机长和副驾驶是针对此次飞行任务而指定的机组职责。

(2) 机长和副驾驶资质是依照民航规章要求,完成特定的地面训练和飞行训练并经考试合格获得相应驾驶员执照的资格。

(3) 在飞飞行员(PF)和监控飞行员(PM或PNF)是针对实际飞行过程中飞机主要由谁来操纵的临时性角色界定。

(4) 左座和右座是就机组在座舱中的位置而言的。

2.4 程序设计原则

程序是为达到特定目的而制定的、具有固定顺序的动作和/或决策的逻辑序列。检查单是为了克服使用者短期记忆的限制而确定的用以识别、规划、对照或验证一组元素或行动,以保证特定的行动序列或程序被按照正确的顺序来执行。虽然程序和检查单是两个不同的概念,但在大多数情况下他们的设计方法及要求是一样的。在后面的论述中,除非特别提及,统一使用“程序”一词。

通常情况下,在设计程序时需要考虑以下原则:

(1) 有效。程序的执行可以有效完成特定阶段的飞行任务,或者有效地处置了相应的应急、非正常状态,使飞机回归到一个相对安全和稳定的飞行状态。

(2) 便于理解和执行。程序从形式、内容上均能使机组方便地理解其操作的要求和目的。

(3) 容错性强。机组可能产生的判断、操作失误不会对飞行安全产生直接重大影响,且程序的设计应使他们有机会发现和纠正这些问题。

(4) 对机组技能和经验无特殊要求,机组工作负荷低。

(5) 程序设计符合民航行业规则或惯例,符合制造商、运营人的政策和飞行技术标准,程序间界定清楚、一致性强。

(6)程序的设计和表述应尽量简化,避免不必要的步骤和信息。

3 设计方法

3.1 飞机设计特点

飞机的设计特点、驾驶舱设计理念、各系统工作原理及逻辑决定了程序的内容。现代民用飞机经过多年的发展,许多设计形式被普遍认为是更安全的或者优化的,在设计上趋于成熟和稳定。新的设计理念、设计形式等仅在被验证为是更安全、更可靠的基础上才会被采纳。

3.2 程序的逻辑

程序的逻辑是程序设计的重要内容,通常有三种逻辑:顺序逻辑,分支逻辑和跳转逻辑,上述三种逻辑经常进行组合、嵌套。在进行设计时,必须保证这种组合、嵌套所表达出的逻辑是清晰、无歧义的。

例如,下述程序在排他性分支程序中嵌套了顺序逻辑,在顺序逻辑中又有非排他性先决条件,还使用了跳转逻辑(执行紧急下降程序),由于紧急下降程序内容较多,且执行完该程序后不需重新返回执行其他动作,因此这种跳转是可以接受的。

◆如果座舱高度不能控制:

旅客信号牌 接通(ON)

●如果座舱高度超过或预计会超过14 000 ft:

旅客氧气电门 接通(ON)

执行紧急下降程序(第132页)

■■(程序结束)■■

◆如果座舱高度可以控制:

继续人工操作以保持正确的座舱高度。

●当座舱高度等于或低于10 000 ft时:
可以摘下氧气面罩。

■■(程序结束)■■

3.3 程序的分析

有了程序原型之后,需要对程序做进一步分析和讨论,包括:

(1)是否需要这么一个程序;

(2)使用该程序的状况或条件是否有清晰定义;

(3)程序对于相关问题的处理方式是否为最合理或最优;

(4)程序逻辑是否清晰,有无未考虑到的分支情况;

(5)如果某项动作未被偶然遗漏或未正确执行,是否会产生比较严重的后果;

(6)程序的步骤和表述是否尽可能简练。

许多问题需要不断地讨论和分析才能发现,尤其是问题(3)经常会被忽视。

3.4 任务拆分和整合

程序中的动作项需要进行更多的考虑,以确认其是否适合放到另一程序,或者在必要时将一个程序拆分为两个,以使程序具备相对单一的目的和较好的内聚性。

对于特定的飞行阶段,可以较轻松地分辨出主要任务和次要任务。通常情况下,主任务是持续而连贯的,而次要任务比较分散。主要任务,包括影响主要任务执行的一些行动项需要整合到一起,而次要任务则应该被分离出来,重新考虑放在什么地方更合适。次要任务包括转移到别的飞行阶段、指派给另一机组成员(包括客舱机组)、减少或消除不必要的任务等。

例如在飞机准备起飞时,接听ATC指令、监视地面及空中情况等比较关键,需要整合到起飞前程序的合适位置,而输入CDU数据、调节引气、通知客舱等非关键项,可以转移到滑行前检查程序,或单独分离出一个滑行中检查程序。

4 程序内容

4.1 术语

应该对程序中所使用的术语进行有效控制,以保证其清晰并能被普遍理解。以下为关于术语的建议。

(1)程序中的口令和响应要与开关和控制手柄上的标签一致。

(2)尽可能使用简短、常用的词汇,如果某个词有多个含义,则按最常用的含义来使用。

(3)“已设定”、“已检查”和“已测试”等术语仅在它们有明确定义和经常使用时才是可接受的。

(4)对于有多种可能设置的响应,应制定一致的规则。“按需”可能会出现在程序中,但这不是一种被认可的响应,通常应该鼓励给出实际设置。

(5)对于程序中涉及液体或气体数量的响应,应将机上实际的量与所需的量做对比。“按需”仅

用于参数具有有效范围且这个范围在标尺上已经标出的情况,例如在油量表上划出的绿色弧线。

(6) 程序应简单明了。例如,“降低空速到130KIAS 以获得最好下滑性能”可简化为“130KIAS 最优下滑”。

(7) 程序不能模棱两可。例如,“起飞推力”可能意味着增加推力,也可能是减少推力。

4.2 标准喊话

标准喊话将激发更多有意义的机组交流,可以提高机组在高负荷情况下(例如起飞、紧急状态、仪表进近、着陆以及部分飞机功能丧失时)的协作效率,并使得机组成员在关键飞行阶段的失误能够被尽早发现。

一般情况下,PF 通过喊话发布目前的主要飞行状态,或提出对其他机组的配合要求;PNF 基于仪表指示或后续图表上标识出的条件完成适合的喊话。在执行程序过程中,PF 将通过喊话表明相应操作已经完成,PNF 通过检查进行核实。如果某一机组成员没有进行所要求的喊话,另一成员应进行喊话。ICAO 文件 9376 中列出了正常进近程序标准喊话的例子,表 1 是其中的一部分。

表 1 标准喊话的例子

喊话	角色	含义
航向截获	PF	航向信标杆从最大偏度开始移动
下滑道开始	PF	下滑道杆从最大偏度开始移动
下滑道截获	PF	A/P 或 F/D 已经截获下滑道
进近灯,或跑道 92L	PNF	看到了进近灯或跑道,且 PF 还未喊出“建立参考”
建立参考	PF	可以根据目视参考继续进近
速度高出 _ 节	PF	空速比预期超出 10 节,或最终进近和入口时实际速度偏差超过 5kt
未稳定	PNF	根据运行手册定义,飞机在无线电高度 1 000ft 及更低时没有稳定
决策点,复飞	PNF	在非精密进近中到达了决策点,且 PF 仍未报“建立参考”或“复飞”

4.3 动作项

动作项是操作程序中的一个相对独立的行动单元,通常是要求机组进行的某项操作或对操作状态的确认,关键的机组喊话也可以作为动作项。

为进一步明确某个动作项的必要性,可以将动作项分为关键项和非关键项。关键项为那些如果不能被正确执行,会对安全产生直接的、严重的影

响。非关键项为那些“事务性”的项或系统管理项。应针对每个飞行阶段来分析识别关键项,保证所有关键项已包括在程序中。以下项一般会在程序中列出:

(1) 属于机组基本操作技能的项。例如操纵面配平、通过 FCP 改变飞机高度或速度等。

(2) 对飞行安全无直接影响的操作。如驾驶舱温度调节、客舱广播、与公司的通信。

(3) 操作细节。例如起落架放下的具体操作步骤。

动作项的顺序是另一个需要考虑的问题,以下为一些关于动作顺序的指导原则:

(1) 当对将某个动作项放在哪里选择余地时,应将其放在使机组工作量最低的地方。

(2) 尽可能使程序更简短,以降低被打断的可能性。

a) 运营人在确定程序动作顺序时,应尽可能减少程序执行时被中断的可能。例如,将“INS NAV MODE”作为发动机起动程序的第一项,可使机组在一个更方便的时间调出并完成发动机起动前程序,即使惯导对准还未完成。

b) 两个短的程序比一个长程序要好。可以画一条线,或在程序中可以停止等待特定事件发生的地方进行标识。

(3) 应明确地标出决策点以及决策点后备选的动作项或备选的动作序列。如果恶劣天气要求备选行动,应在设计程序时考虑这个备选行动。

4.4 中断的处理

程序设计时,应该考虑在执行过程中可能会被中断的情况。应建立统一的规则,来保证程序执行中断后,可以重新建立正确的顺序。以下是建议的处理程序。

机组对中断前所有已完成的项进行重新确认。

(1) 对于每个已完成的项,要求再次确认各开关、控制手柄、按钮和控制杆在所要求的位置上,且相应的指示灯和仪表已经指向了预期的位置。

(2) 附加要求:如果任何开关、控制手柄、按钮和控制杆与所要求的位置不一致,则程序需要再完整执行一遍,包括任何与特定程序项相关的检查;如果指示灯和仪表指示与特定的开关、控制手柄、按钮和控制杆的位置不一致,且再重新完整执行一遍程序后仍旧无法解决问题,机组应在飞机维修记

录上进行记录。

4.5 记忆动作项

记忆动作项是需要被立即执行来避免或稳定危险状态、以至于机组成员没有时间去参考手册或检查单的动作。需要记忆动作项的情形包括但不限于:(1)即将发生的机组失能;(2)即将发生的飞机失控;(3)即将发生的、不可能保证持续安全飞行和着陆的系统或部件破坏。

根据上述原则,座舱释压时机组戴上氧气面罩或发动机热启动时中断燃油和点火属于记忆动作项,而巡航过程中单发失效不需要记忆动作项。

事实证明一些需要或似乎需要记忆动作项的情况,会引起机组错误和不恰当的反应。因此,记忆动作项必须被严格限制在那些仅用来稳定局势所必须的动作项。另外,一些情况下记忆动作项不需要包括在程序中。例如在中断起飞程序中,飞机停止后再去证实动作项没有意义,相反在大多数情况下,形势得到控制后应该有一个后续的“清理”检查单。

4.6 程序的完整性

在程序编制基本完成后,需要对程序的适当性和完整性进行再次审查,考虑的因素包括:

(1)程序的目标。一个程序应该是为达到某个预定目标而建立的一个可接受的方法。

(2)机组成员的职责界面。程序中每个步骤的责任人必须很清楚地规定出来。

(3)表述的清晰性。如果不是显而易见的或不能被普遍理解,应说明程序操作执行的可接受标准。

(4)程序的简洁程度。程序设计的详细程度应该能被经验最少的飞行员理解和正确执行。

(5)程序中的引用。程序执行过程中,如果需要参考表格、其他程序或工具,应标明到哪里去找。

(6)机组工作负担。通常情况下应给出完成程序所需的足够时间,否则,需要修订程序本身或飞行员的分工职责。

5 表现形式

5.1 叙述式和检查单式

大多数正常程序,例如正常的起飞和着陆程序以叙述形式编制,没必要编制成动作项或检查单形式。例如,以叙述形式描述的正常的起飞和着陆程序可以给航空公司客户化留出一定的灵活性。应

急程序和非正常程序由于一般需要明确地规定机组连续高效地做一些动作,因而大多数情况下采用检查单的形式。

5.2 表现形式:符号、图形

程序的表现形式也是程序设计的重要内容,包括排版布局、索引、字体及大小、程序中的符号和图形等,最好进行统一规划。对于直接针对机组使用的手册,应在表现形式上做更多的考虑,使其使用起来更直观、易于理解,减少阅读时间、提高效率。关于排版布局、字体等问题,需要针对用户的具体使用要求进行考虑,本文不再赘述。作为例子,图2是ERJ170飞机的图形化方式表示的前客舱门开的程序。

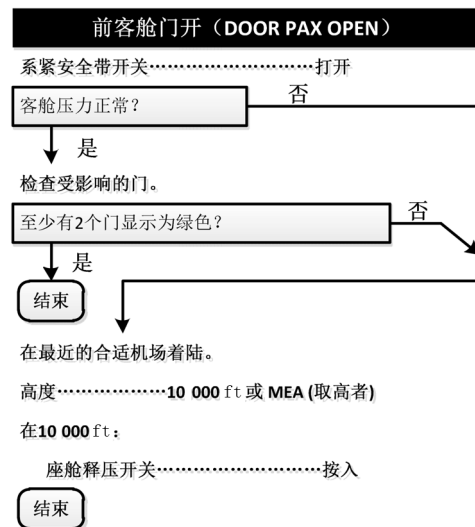


图2 ERJ170 快速检查单程序

5.3 繁简程度

根据手册的使用目的、程序的类型,机组操作程序的详略程度不同。一般而言,AFM手册中的程序及其动作项比较简化,仅考虑直接与飞行安全直接相关的、或与适航要求相关的内容。FCOM手册是相关手册中信息最多的,通常为了便于机组理解,包含了许多有关程序适用范围、座舱指示、注意事项等解释性信息。QRH手册的程序和FCOM一致,但在格式和形式上更直观、更易于直接使用,为了提高效率,不包含对操作无影响的解释,并提供方便的检索方式。

6 审查验证

6.1 程序的审查

程序开发组的人员应对程序的安全性、容错

性、清晰性和使用效率等进行细致的审查。虽然目前还没有统一明确的程序质量标准,但在审查之前确定一个明确的、便于评估的评价标准是非常必要的。建议以2.4节的程序设计原则为参照,确定一个便于衡量的标准。

以容错性为例,程序的设计应对“关键项”进行有目的的冗余,即在适当的地方进行重复核实,以防止被无意中遗忘掉。以下是一些关于关键项的建议。

(1)在准备开车阶段,飞行导引和导航动作项被证实是非常关键的。惯导对准和计算机程序应由一名成员完成,并由另一名机组独立核实。此类动作项目应尽可能多地在飞机移动之前被执行和确认。

(2)在滑行和准备起飞阶段,飞机的构形(如襟翼、配平和减速板)和飞行导引项(如航向、飞行指引、高度选择设置和空速)被证实是关键项。

(3)在进近阶段,飞行导引被证明是关键项。当同一个要求需要对两个独立设备(如计算机、飞行仪表或高度表)进行设置时,两边的飞行员均需要进行反应。

(4)在着陆前阶段,所有动作项都是关键的,根据飞机类型而有所不同。对于小型飞机,起落架被证明为程序中的关键项。对于大型、运输类飞机,除了起落架和襟翼,与这些系统关联的多功能告警设备和系统也应该受到驾驶员关注。

6.2 验证

程序验证的方法主要是模拟器验证和试飞验证,在这两种方法均无法验证或无法完全验证时,可以通过分析/计算、安全评估的方法来论证或进行补充说明。对于正常程序可通过一般的模拟器训练和飞行试验较好地验证,而对于非正常和应急程序,需要制订专门的计划,在取得局方认可后实施。

试飞验证主要结合申请人表明符合性试飞和合格审定试飞进行,应急和非正常程序的验证一般与相应故障试飞科目相结合。例如,“左(右)燃油量低”程序可结合“一台燃油泵失效时的供油”和“交叉供油”试验来进行评估。应当注意,需要对试验过程中引入的故障进行仔细评估,以保证试飞安全。在试飞条件不允许,或者安全风险较高时,可用模拟机试验或计算分析的方法进行补充验证。

7 结论

飞行操作程序的开发是一项灵活性大、综合性强、难于度量和评估的工作,建立一套完善的方法论和体系有助于工作有序、系统开展,并获得质量较高的设计结果。本文重点探讨了飞机制造商针对新型号而进行的程序开发和评估,所提出的原则和方法对于航空公司客户化和修订手册程序也有较大的参考意义。

随着民用航空技术的发展,飞机系统的高度综合将使得机组的负担进一步降低。电子检查单可能会取代大多数纸质程序成为机组操作的主要指导,程序的表现形式会有很大的不同。虽然如此,程序的开发、评估和验证仍然非常重要,甚至可能会变得更为复杂,因为此时需要考虑计算机系统的信息处理特点、信息的表达方式、故障和虚假信息等问题,除了表现形式不同之外,计算机内建的程序仍旧需要考虑顶层原则、设计方法、内容的审查和验证方法。

参考文献:

- [1] FAA. Order 8900.1 Manuals, Procedures and Checklists for 14 CFR Parts 91k, 121, 125, And 135 [S]. 2007.
- [2] Asaf Degani, Earl L. Wiener. Procedures in complex systems: the airline cockpit, Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans [J]. IEEE Transactions, 1997: 302-312.
- [3] FAA. AC25.1581-1 Airplane Flight Manual[S]. 2012.
- [4] Civil Aviation Authority of South African. CA AOC-FO-004 Approval of Manuals, Procedures and Checklists [S]. 2008.
- [5] Alex Chaparro, Loren S. Groff. Human Factors Survey of Aviation Technical Phase 1 Report Manual Development Procedures [R]. Human Factors Survey of Aviation Technical Manuals, FAA, 2005.
- [6] Asaf Degani and Earl L. Wiener. On the Design of Flight-Deck Procedures [R]. NASA Report 177642, 1994.
- [7] ICAO. Preparation of an Operations Manual Ed2 [R]. ICAO Doc9376, 1997.
- [8] 中国民用航空总局飞行标准司. 咨询通告 AC-121-22 机组标准操作程序[S]. 北京:中国民用航空局, 2007.
- [9] Denis Besnard. When mental models go wrong: co-occurrences in dynamic, critical systems [J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2003: 117-128.