

一例涡桨飞机飞行事故中的人因分析与研究

张志刚¹ 赵 纯¹ 胡远根^{2*}

(1. 中航西飞民用飞机有限责任公司, 西安 710089; 2. 航空工业第一飞机设计研究院, 西安 710089)

摘 要:

从早期一例涡轮螺旋桨飞机的飞行事故出发, 首先回顾了事故发生的过程, 然后分析和研究了事故发生的原因, 并指出人为差错是导致事故发生的主要原因, 最后从工程角度出发对民用飞机驾驶舱人为因素设计工作提出一些反思和建议。

关键词: 涡桨飞机; 驾驶舱; 人为因素

中图分类号: V328

文献标识码: A

OSID:



0 引言

进入 21 世纪以来, 随着航空技术的发展, 民用航空的安全性得到极大提升, 由飞机自身设备故障引起的飞行事故概率已从 20 世纪初的 80% 下降到 21 世纪 10 年代末的 3%, 而人为因素已经成为当今航空飞行事故的主要原因。国际航空运输协会 (IATA) 的统计资料显示, 所有飞行事故中约有 80% 都与人的不安全行为有关。因此, 人为因素已经成为影响当今航空飞行安全的重大隐患, 如何减少人为因素引起的飞行事故已成为现今民用航空安全关注的重点^[1]。

从 1972 年爱德华首次提出著名的 SHEL 模型^[2]以来, 航空人为因素的研究就在不断地向前发展。1990 年, James Reason 出版了首部关于人为差错的著作《Human Error》, 第一次系统地论述了人为差错研究的不同观点, 典型的过失以及差错预测和预防的方法^[3]。在 SHEL 模型和 Reason 模型的基础上, 国外各航空发达国家相继开发了一些人为因素数据收集和分析系统。这些均有利于改善人为因素状态, 提高系统的可靠性。

国内人为因素研究起步较晚, 20 世纪 90 年代中期, 中国民航大学民航安全科学研究所开展了

对人为因素基础理论的研究。1998 年, 民航总局批准适航审定中心申报的“航空人为因素问题研究”课题, 对航空维修中人为因素进行研究。2001 年, 民航总局组建了“民用航空中人为因素课题组”, 在国家科技部立项进行了研究。虽然国内人为因素的研究已取得阶段性成果, 但是与国外相比, 还处于起步状态, 需要进一步加强研究。

本文从福克 F27 型涡桨飞机一例典型飞行事故出发, 首先回顾了事故发生的过程, 然后结合适航条款要求对事故发生的原因进行详细分析, 并指出人为差错是直接导致事故发生的主要原因, 最后从工程角度出发, 对民用飞机驾驶舱人为因素的设计工作提出了一些反思和建议。

1 事故过程

2002 年 11 月 6 日, 一架卢森堡航空公司的福克 F27 型涡桨飞机如图 1 所示, 在执行从柏林到卢森堡的飞行航线进近阶段, 发生了机毁人亡的重大飞行事故。当时, 机上载有 19 名旅客和 3 名机组成员, 飞机开始巡航高度是 18 000 ft。在航路上, 机组已经检查了目标机场的天气, 获知降落机场能见度是 100 m, 跑道上雾, 跑道可视距离 (runway visual

* 通信作者. E-mail: 1186548648@qq.com

引用格式: 张志刚, 赵纯, 胡远根. 一例涡桨飞机飞行事故中的人因分析与研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2019(4):61-65.

ZHANG Z G, ZHAO C, HU Y G. Analysis and research of human factors on a turboprop aircraft accident[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2019(4):61-65 (in Chinese).

range, 简称 RVR) 最低要求是 250 m。机组讨论了延误发生的可能性、在目标机场上空的盘旋以及转场操作程序, 但并没有做出任何进近阶段的决断, 所以没有做进近的相关准备工作。



图 1 福克 F27 型飞机

在接近机场时, 能见度仍然达不到降落需求, 所以机组决定复飞, 此时飞机距离机场跑道水平距离约为 5.5 nm, 见图 2 中①点。在复飞开始后较短的时间内, 控制塔呼叫机组, 通知天气达到最小允许条件, 同时确认了已经清场, 机长认为可以直接着陆, 于是中断复飞, 重新开始进近飞行。此时飞机正处于下滑道的上方(见图 2 中②点)。为了使飞机能够直接着陆, 机长违反程序拉起主桨距止动块, 将功率杆向后拉到第二止动块位置使螺旋桨处于地面慢车状态。与此同时, 副驾驶放下了起落架, 防滑控制启动盒导致的电磁干扰使得保护措施——“止动块”瞬间失效。功率杆超出了机长的预期操作, 不可控制的向后继续移动, 使螺旋桨进入反桨状态。等机长意识到操作失误后, 紧接着功率杆又向前推, 但右侧螺旋桨没有从反桨状态恢复。随后飞机阻力剧增、升力逐渐丧失、推力产生不对称。为了保证飞机可控, 机长又执行了双发关车操作, 导致飞机失去控制, 最终飞机坠落于距离机场跑道 3.5 km 的地方, 仅机长和一名旅客幸存。

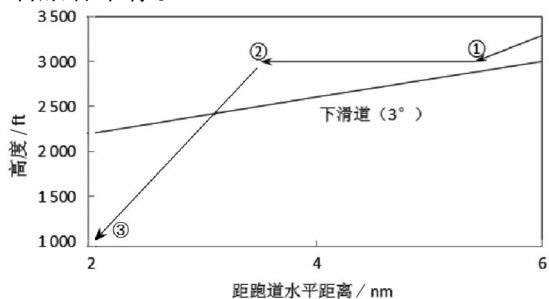


图 2 着陆距离示意图

2 事故原因

2.1 飞行情境

在进场过程中, 如果能见度不符合要求, 如本文案例的能见度不够、跑道上未知障碍物或者其他原因, 飞行员应该立刻终止降落过程进入复飞程序, 增加飞机推力, 飞机开始爬升, 接着转场飞行或者准备重新进近操作。

本案例中, 机长一开始执行了复飞程序, 但接到塔台通知能见度符合要求后即立即中断复飞, 强行进入进近程序。从图 2 中①点和②点可以看出, 虽然此时两点飞行高度基本在同一水平, 但是下降梯度和水平距离差别明显。从②点开始下降至平稳着陆比正常下降程序严酷很多, 其最直接的影响是完成整个过程的时间缩短, 在不减少操作动作的前提下, 机组完成工作的时间压力骤增, 工作负荷变相提升, 导致发生操作或决策失误的可能性变大。

2.2 系统设计

根据适航条款 CCAR25.1155“用于反推力和低于飞行状态的桨距调定的每一操纵器件, 均必须有防止被误动的措施。该措施在飞行慢车位置必须有确实的锁或止动器, 而且必须要求机组采取另外明显动作, 才能将操纵器件从飞行状态(对于涡轮喷气发动机飞机为正推力状态)的位置移开”^[4]。发生事故的福克 F27 飞机本身设置了主桨距止动块和第二止动块, 这是符合适航要求的设计, 可避免飞行员因操作不当而将功率杆拉到不正确的档位上, 属于防差错设计。

防差错的设计避免了飞行员的误操作, 带来了操作上的便利性, 但也埋下了依赖性的隐患。譬如在机组长期使用过程中, 由于止动块的限制功能, 飞行员操作几乎不会发生功率杆超出预期档位的情况。因此在意识层面和操作习惯上会默认只要拉或推不动功率杆就是到达了预期位置。一般机组在长期严格要求和培训过程中, 会对操作结果进行检查确认。但是在紧急情况下或者时间压力大的飞行情境中, 紧张心理会使人的注意力变得狭窄, 过分专注在自认为重要的信息点或操作上, 而忽略其它操作上可能造成的致命错误, 或者错过了改出飞机或修正错误的关键时机。

在本案例中, 由于电磁干扰使得“止动块”功

能失效。而机长没有意识到失效带来的严重后果,只是习惯性地用力把功率杆拉到“预期”位置,并且没有及时发现该操作带来飞机状态的不可控。

2.3 人为差错

导致“止动块”瞬间失效的外在原因是机长向后拉功率杆的同时副驾驶放下起落架所引发的电磁干扰,实际原因是机组操作过程中的人为差错。

在机组责任要求中,除了要求所有机组成员都要对飞行的安全负责,还明确提出对机组其他人员的动作保持警醒,即在操作过程中机组任何一人的操作动作要通告另一方,尤其是关键或在共用设备上的操作改变。

2.4 其它隐患

在本案例中即使不出现上述失误,飞机按机长预期落在跑道上,仍不能完全保证安全停落在跑道上。

CCAR 121.195(b)^[5]规定“在预定的目的地机场的下述跑道上,由超障面与该跑道交点上方15.2 m(50 ft)处算起,在跑道的有效长度60%以内作全停着陆”。所以,民用飞机降落时经过跑道端头后还有一段空中下降距离,实际接地点距离跑道端头较远。在民用飞机研制工作中,需通过试飞测试不同飞机重量下的着陆距离,重量越大,进场和接地速度越大,相应需要更长的跑道长度。飞机实际运营时,不同飞行员操作不尽相同,为了保证安全着陆,适航条款规定了额外的跑道长度,通常规定跑道长度不应小于上述着陆距离的1.67倍,并作为派遣的约束条件之一。因此,飞机一旦进入复飞程序之后,不能强行中断,否则将导致接地点远离跑道端头,所需跑道长度亦相应加长。即使目的机场留有足够的余量,但是考虑各种因素的影响,飞机仍旧会面临冲出跑道的风险,导致危险事故的发生。

3 事故总结

本案例直观看是油门台与起落架收放手柄交叉使用导致防差错装置失效引发的飞机状态失控。但仔细回顾整个事件不难发现,机长为了追求飞机的准点率强行中断复飞程序,是事故发生的导火索。这个决策本身隐含了不安全因素和风险:(1)中断复飞后,机组用于操作准备的时间比正常程序时间

短,即时间压力增大了;(2)后续飞行中机组已经不能按照正常程序操作飞机,即打乱了已有的操作习惯和节奏;(3)即使机组立即降低飞机速度和高度以保证达到合适的降落条件,但是飞机仍面临冲出跑道的风险。综上,可以看出机长做出中断复飞直接着陆这个决定是轻率、自负和冒险的。飞机进近到着陆过程是机组工作负荷最大、事故发生率最高的阶段。不仅仅是因为飞机姿态变化快,还在于时间短暂、关键点不可逆,错误一旦发生很难补救。假设仅仅是工作时间减少一些而操作程序不变,那么依赖于对程序的熟悉,机组发生错误的概率并不会明显上升。而本案例中除了时间压力变大,操作动作也需根据实际情况实时决定,导致机长只关注飞机速度和高度是否达到理想目标,而忽略了对副驾驶操作的警醒,也没有意识到自己操作中的失误。因此,这是一起“人(即机组)为因素”引发的飞机坠毁事故。

从人为因素角度看,人的不安全操作可能是有意的也可能是无意的。有意的不安全操作可以是误解或者有目的的违规,无意的不安全操作可能是失误或过失。本文案例中既包含有意的违规也包括无意的过失。

4 设计反思

飞机飞行手册禁止飞行员在某些系统操作中采取相应的动作,但是飞行员有时会为了某个方面的好处,而违反操作程序。在该案例中,机长为了使飞机减速,采取了不符合操作程序的操作动作。

当使用卡位锁、物理限制等措施来防止飞行员采取特殊的、有危险性的动作时,如果飞行员过度相信和依赖保护措施,那么当保护措施失效时,他们的操作将导致严重后果。所以在飞机设计时必须考虑保护系统的失效,并对此进行安全性分析,针对那些可能的、不常见的操作模式,分析其在失去保护措施的情况下,对飞机的影响。

同时,设计人员应该知道,这些保护措施并非越多越安全,需要权衡分析。以飞控系统失速保护为例,按照空客飞机的设计思路,当飞行员为了简化诸如最大性能爬升的操作时,只需要将侧杆拉到最后极限位置,完全依赖飞控系统的失速保护功能以防止飞机失速。但在实际飞行中,当飞机需要紧

急避让某些障碍物时,飞行员往往需要进行过度操作,这些操作可能会导致飞机失速,此时就不需要失速保护功能起作用。因此在特定条件下(如不需要失速保护功能),飞控系统会转换到降级模式。在这种模式下,如果飞行员没有意识到失速保护模式已取消,仍然按照习惯操作将侧杆拉到后限位置,必然会导致飞机失速,法航 447 航班事故就属于这种情况。

在紧急情况下,飞行员极有可能根据自己的习惯去操纵飞机,如果飞行员被培训或者自己学习去依赖飞机的保护措施来避免飞机安全方面问题,那么这些措施必须被设计成非常可靠的。同时,对于这方面的问题,飞机设计人员必须认真思考在飞机上通过设置锁或者止动块来实现安全目标时,会对飞行员的操作习惯产生哪些影响。由于飞行员过度依赖安全保护措施,可能导致的后果包括:在飞行中较少地监控系统参数;飞行员较少地观察飞机外部环境;在锁或者止动块失效时,无意识地进行有危险的操作。为了避免上述情况,可以通过咨询有经验的飞行员从而提前识别出飞机运营使用中的问题,进而分析出实际操作中机组可能会犯的错误类型,并加以避免。此外,相关资料包括适航法规、咨询通告、研究文献等都可以帮助预先发现设计工作中的缺陷,并在试飞工作中通过设计多种飞行场景加以验证,从而最大限度减少人为犯错的概率,提升飞机的安全性。

5 现代驾驶舱设计理念

现代飞机已经发展成为“以机组为中心”的驾驶舱设计理念^[6]。这充分说明了“人”(机组)在完成飞行任务、确保飞行安全中起着至关重要的作用。驾驶舱符合人为因素设计才能保证“人”和“机”的良好匹配,机组才能更安全、更高效、更舒适地完成飞行任务。因此,让飞行员和设计员完全理解所驾驶飞机的设计理念,包括飞机的操作需求、功能需求、系统设计、驾驶舱设计原则和最终的集成设计等方面,是确保正确、安全操作飞机的基础。以波音和空客飞机驾驶舱设计理念中的“飞行员权限”为例。空客飞机提出“The pilot is ultimately responsible for the safe operation of the aircraft. He has final authority with adequate information and means to exercise his authority”,而波音飞机提出“The pilot is the final au-

thority for the operation of the airplane”^[7]。对比可知,空客飞机要求飞行员是有条件的全权控制,而波音飞机要求飞行员对飞机拥有无条件的、最终的决定权,两种截然不同的理念决定了飞行员不同的操作模式和习惯。

对于民用飞机驾驶舱设计和设备布置是否正确合理并没有统一标准的答案。只有通过设计不同的飞行场景来进行试飞评估、验证,才能发现问题,进而完善设计。特别是针对各种复杂场景的试飞或培训,才更可能发现造成危险的不良操作,从而在操作程序中禁止使用。

在飞机研制初期阶段,也可以基于物理样段或飞行模拟器进行多轮评估提前发现驾驶舱设计中存在的不协调、不合理问题。评估内容通常包括:开展驾驶舱整体布局合理性的评估,驾驶舱外视界和内视界的评估,视界、视角、显示内容、显示画面切换等显示的评估;旋转控制、按钮、键盘、开关、光标设备等输入界面的评估;控制器件和操纵器件的可达性、操作习惯、操纵力的评估;防差错评估等。通过设计相应表格对评估结果进行整理和分析,从而确定是否需要调整飞机方案。

6 结论

保证飞机飞行安全是设计者义不容辞的责任,必须审慎应用先进技术在新设计型号上的应用。人为因素,作为影响航空安全的最重要因素,是验证设计工作合理性的必经之路。只有充分考虑人为因素的影响,才能最大限度地减少人为犯错的概率,从而提升飞机的安全性。

参考文献:

- [1] 高培建. 人为因素与航空安全[J]. 科技创新导报, 2009(13): 212-212.
- [2] REASON. J. . Human error [M]. New York: Cambridge University Press, 1990.
- [3] 刘亚军, 邹国良. 国际民航组织人的因素研究回顾与未来发展计划[J]. 空中交通管理, 2002(1): 4-7.
- [4] 中国民航总局. 中国民用航空规章第 25 部: 运输类飞机适航标准[S]. 中国: 中国民用航空总局, 2011.
- [5] 中华人民共和国交通运输部. 大型飞机公共航空运输承运人运行合格审定规则[CCAR-121-R5][S]. 2017: 75-76.
- [6] 傅山. 民用运输类飞机驾驶舱人为因素设计原则[M]. 上海: 上海交通大学出版社. 2013: 77-78.

- [7] SAE. Flight crew interface considerations in the flight deck design process for part 25 aircraft [APR 5056] [S]. 2013:10-20.

作者简介

张志刚 男,硕士,研究员级高级工程师。主要研究方向:民

用飞机总体设计。E-mail: zhangzg@xac.com.cn

赵纯 女,本科,高级工程师。主要研究方向:民用飞机总体设计。E-mail: 18192119082@163.com

胡远根 男,硕士,工程师。主要研究方向:民用飞机总体设计。E-mail: 1186548648@qq.com

Analysis and research of human factors on a turboprop aircraft accident

ZHANG Zhigang¹ ZHAO Chun¹ HU Yuangen^{2*}

(1. AVIC XAC Commercial Aircraft Co., Ltd, Xi'an 710089, China; 2. AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China)

Abstract: A primitive aviation accident of a turboprop aircraft was analysed in this article. Firstly, the process of this accident is reviewed, then a deep analysis and research was carried out on the cause of this accident, and human error was indicated as the main reason of this accident. Finally, some thinking and suggestions about flight deck human factors of civil transportation aircraft were proposed in the view of engineering.

Keywords: turboprop aircraft; cockpit; human factors

* Corresponding author. E-mail: 1186548648@qq.com