

美国西南航空的发动机空中失效事件

Southwest Airlines' Engine Inflight Failures

■ 林育新/厦门航空公司 成磊

美国西南航空公司2016年8月和2018年4月连续发生两起CFM56-7B发动机风扇叶片空中断裂事件，特别是最近的一次造成一名乘客身亡，引起业界广泛重视。尽管事件的最终调查报告还没有公布，但发动机制造商、局方和受影响的航空公司均积极采取行动，避免悲剧的再次发生。

当地时间4月17日，美国西南航空公司的一架波音737-700（注册号为N772SW）执行从美国纽约的拉瓜迪亚机场至达拉斯的拉夫菲尔机场的国内定期客运航班（航班号为1380）。飞机于上午9:43从纽约起飞，大约20min后，当飞机爬升至9900m时，1号发动机（左发）的一个风扇叶片断裂，受损的风扇整流罩碎片将飞机的一个舷窗打坏，造成客舱失压。事后机组成功将飞机紧急迫降在费城国际机场。本次航班载有144名乘客和5名机组人员，事件中有1名乘客重伤不治而身亡，另有8名乘客轻伤。这是自2009年以来，美国商业航班发生的首例乘客死亡事件，也是美国西南航空公司自1971年6月18日开航以来，发生的首例乘客死亡事件，引起各方高度重视。

事故调查

美国国家运输安全委员会（NTSB）派出的调查小组在事发当日16:30抵达费城国际机场。调查小组由动力装置、适航、生存因素和运行等方面的专业人员组成，NTSB主席罗



NTSB调查人员在现场检查西南航空受损的发动机

伯特·桑沃特（Robert Sumwalt）一同前往。另有气象学、维修记录、空中交通管制和飞行记录器以及航材专家在异地提供支援。美国联邦航空局（FAA）、西南航空公司、GE公司、波音公司、飞机机械师协会、西南航空公司飞行员协会、运输工人工会和联合技术航空系统公司（UTAS）等参与了事故调查。

在4月17日晚些时候召开的新闻发布会上，桑沃特表示，调查组通过对事故发动机的检查发现，1

号发动机第13号位置的风扇叶片在与轮毂连接处断裂。叶片断裂处有明显的金属疲劳痕迹，相关图片已传送到NTSB的实验室做进一步分析。

根据目击者提供的线索，在距离费城国际机场西北约110km的伯恩斯韦尔发现从飞机脱落的发动机进气整流罩碎片。飞机的飞行数据记录器（FDR）和飞行员语音记录器（CVR）已被运回NTSB华盛顿总部实验室进行下载和译码。

这次事故令人联想起西南航空发生的另一起类似事件。当地时间，2016年8月27日，西南航空的一架波音737-700飞机（注册号为N766SW）执行由新奥尔良到奥兰多的国内航班任务。当飞机爬升穿越9450m(FL3100)时，飞机左发动机失效，碎片击穿机身，造成客舱失压。当时机上104人，其中99名乘客、5名机组人员，机组将飞机安全迫降在彭萨拉科国际机场。针对此次事件，CFM国际公司于2017年3月发出一份服务通告（SB72-1019），建议尽快对高循环的CFM56-7B发动机的风扇叶片进行一次超声波检查。

紧急行动

4月20日，在西南航空的1380航班事件发生后，CFM国际公司向所有的波音737用户发出服务通告（CFM56-7B SB72-1033），要求在5月10日前对所有超过30000循环的CFM56-7B发动机上的风扇叶片进行超声波检查，大约有680台发动机受影响。该服务通告还要求在8月底之前，对所有累计20000~30000循环的CFM56-7B发动机风扇叶片进行超声波检查，有2500台发动机受到影响。在完成首次超声波检查后，CFM国际公司还建议每3000循环（大约相当于每运营两年）对发动机的风扇叶片重复进行超声波检查。

4月20日，FAA、欧洲航空安全局（EASA）根据CFM国际公司的服务通告，向CFM56-7B发动机的用户发出紧急适航指令（EAD），要求根据CFM公司的服务通告，对高循环CFM56-7B发动机的风扇叶片进行检查。

CFM56发动机由美国的GE公

司和法国的赛峰飞机发动机公司平股合资研制。CFM56-7B发动机于1997年随波音737NG投入商业运营，目前大约有14000台该型发动机在役，已累计飞行超过3.5亿小时。CFM56-7B发动机是CFM56系列发动机中唯一采用钛合金宽弦风扇叶片的，具有较高的辨识度。大约有60个航空公司运营的CFM56-7B发动机受此服务通告的影响。GE和赛峰派出约500名技术人员为客户提供技术支持，尽可能地减少对航班运营的影响。

发动机的一个飞行循环由点火、起飞、着陆和熄火等过程组成。飞行循环数是确定发动机及其部件的维修和检查间隔的重要数据。风扇叶片的超声波检查可以在翼进行，使用专门超声波探头沿风扇叶片燕尾榫表面进行检查，每台发动机完成检查大约需要4h。

初步调查

5月3日，NTSB在其网站上公布了对此次事件的初步调查报告。报告中指出，通过对受损发动机的初步检查发现，进气整流罩的大部分（包括包容环的外壳、后隔框和内壳的前半部分）都已脱落，但进气整流罩的包容环是完整的，只是有大量受冲击的痕迹。风扇机匣上没有被击穿的孔，但有受外物冲击的痕迹。

第13号位置的风扇叶片是从叶根处断裂，叶片榫头依然留在轮毂上。在检查断裂风扇叶片榫头时，发现金属疲劳原发区域位于叶片凸面靠近前缘处。在发动机的风扇叶片和出口导流叶片之间发现了两块来自于断裂叶片的碎片。其中一块来自叶根，与保留在风扇盘上

的叶片榫头可以很好地吻合，展向长约30cm(12in)，质量约为3.096kg(6.825lb)；另一块碎片展向长约5cm(2in)，有扭曲变形，质量约为0.295kg(0.650lb)。其他23个风扇叶片的前缘有被重物撞击的痕迹、发生卷曲，后缘有撕裂、部分材料脱落。在完成原位检查后，风扇叶片从叶盘上拆下，按照CFM国际公司SB72-1033服务通告的要求进行了超声波检查，没有发现疲劳裂纹。

经过NTSB材料实验室的进一步检查，发现断裂叶片的疲劳损伤源于叶片的凸面，在叶片榫头前缘1.443cm(0.568in)、叶根端面外侧1.549cm(0.610in)处。疲劳裂纹起源于叶片榫头与轮毂接触面的涂层。而从外观看，此处涂层均匀，没有碎片或者脱落。断裂表面用扫描电子显微镜做了进一步的检查，观察到低周疲劳裂纹。

从出厂算起，这台发动机的风扇叶片已累计32000循环。根据维修记录，风扇叶片从上次大修到发生事故运行了10712循环，风扇叶片进行过目视和荧光渗透检查。

自2016年8月27日西南航空上一起风扇叶片脱落事件发生后，CFM国际公司要求在发动机翻修过程中增加涡流探伤检查。此次发生故障的发动机自上次翻修后，叶片榫头进行了6次润滑。每次润滑后均按要求在安装时对其进行了目视检查。NTSB的材料小组正开展工作，以判断第13号位置的风扇叶片的裂纹从产生到扩展所经历的飞行循环数，并评估现行裂纹检测方法的有效性。

乘务员在按受调查时，均表示听到了很大的声响且感受到振动，



整流罩受损情况

带疲劳指征的断面

客舱内的氧气面罩自动脱落。乘务员在配戴好便携式氧气瓶后在客舱巡视并安抚乘客，帮助他们戴上氧气面罩。当他们来到客舱中部时，发现第14排的一名乘客的部分身体被吸出破损的弦窗外，在机上另外两名男乘客的帮助下，才将这名乘客拉进客舱。

飞行员在接受调查时表示，飞机在爬升过程中没有任何异常。当时，飞机是由副驾驶操作，机长在一旁观察。他们突然感到客舱压力有变化，飞机发生偏转，驾驶舱报警并出现灰色的烟雾。他们戴好氧气面罩后，副驾驶让飞机开始下降。飞机数据记录器(FDR)的数据显示，1号发动机的所有参数在下降的同时飞机振动加大，客舱高度报警在5s内被触发。在飞行员输入控制指令之前，飞机向左偏转了40°。机组立即向空管人员报告，飞机操作困难，无法完成剩余的航程，请求迫降。空管人员很快清出了飞往费城国际机场的航路。

据机组人员报告，开始时通信较困难，是因为飞机内噪声很大、注意力无法集中且需要配戴氧气面

罩。随着飞行高度的降低，通信情况得到改善。机长本打算在完成所有检查任务后再降落，但听说有乘客受伤后，决定缩短进近时间，快速降落。

防范措施

虽然NTSB还没有公布西南航空的两起发动机空中失效事件的最终调查报告，但无论是制造商、局方还是航空公司均采取了积极的措施加以防范。

4月17日事发当日，西南航空公司的首席执行官(CEO)加里·凯利(Gary Kelly)向NTSB主席桑沃特表示，公司将加速对CFM56-7B发动机的检查工作，预计所有的检查工作会在30天内完成。

西南航空公司首席运营官(COO)迈克·范德文(Mike Van de Ven)在其投资者大会上表示，5月初，西南航空公司完成了35000多个风扇叶片的检查。这一检查工作是自2016年8月27日发生首次风扇叶片断裂事件后，按照CFM国际公司的服务通告的要求进行的，而在今年4月17日再次发生风扇叶片断裂事件

后，西南航空加快了对风扇叶片的检查工作。凯利称，尽管此次检查为“零发现”，但依然更换了20~30个涂层异常的风扇叶片，并将其送往CFM国际公司做进一步的检查。西南航空还完成了对检查记录的审核工作，确保每个有需要的风扇叶片都进行了检查。

5月15日和5月17日，FAA和EASA分别发布了新的适航指令，对CFM56-7B发动机的高循环风扇叶片提出时间更为紧迫的检查要求。航空公司应在该适航指令生效的1个月内完成CFM服务通告中规定的风扇叶片的涡流探伤或者超声波检测。

CMF国际公司的最新服务通告(CFM56-7B SB72-1033R1)建议，航空公司应在6月30日前，对累计20000飞行循环的风扇叶片进行检查，大约有5400台发动机受影响，其中部分已完成了检查。CFM国际公司将建立一个系统，对所有在役的约356000个CFM56-7B风扇叶片将按零件编号进行记录和跟踪。

针对美国西南航空的两起发动机风扇叶片失效事件，中国民航局分别于3月30日(CAD2018-MULT-29)、4月23日(CAD2018-MULT-29R1)和5月18日(CAD2018-MULT-29R2)发出适航指令，要求国内航空公司按规定完成相应的CFM56-7B发动机风扇叶片的检查工作。民航局适航指令称，此次风扇叶片的检查涉及飞行安全，是强制性措施。如不按规定完成，有关航空器将不再适航。

航空动力

(林育新，厦门航空公司机务工程部，高级工程师，主要从事航空发动机维修工程管理。)