

B737NG 飞机自动驾驶失效排故浅析

陈国芳

深圳航空有限责任公司, 广东 深圳 518128

摘要： 本文重点介绍了 B737NG 飞机自动驾驶失效的故障隔离思路和具体操作方法。数字飞行控制系统的核心计算机 FCC 有五大功能，分别是自动驾驶、飞行指引、高度警戒、速度配平和马赫配平。当自动驾驶无法工作，不一定要保留整个 FCC，有可能只是自动驾驶单一功能失效了，其他四大功能并不受影响，只需对自动驾驶这一功能保留即可。

关键词： B737NG 飞机；FCC 功能；自动驾驶失效；排故

Analysis of Autopilot Failure Troubleshooting for B737NG Aircraft

Chen Guofang

Shenzhen Airlines Co., Ltd. Shenzhen, Guangdong 518128

Abstract： This paper focuses on the fault isolation idea and operation method of B737NG aircraft autopilot failure. The FCC computer who is the core function of the digital flight control system has five functions, include autopilot, flight guidance, high alert, speed trim and mach trim. When autopilot does not work, it is not necessary to defer the entire FCC, it is possible that only the single function of autopilot fails, and the other four functions are not affected, only the function of autopilot can be deferred.

Keywords： B737NG aircraft; FCC functions; autopilot fails; troubleshooting

引言

波音 737NG 飞机，当机组反映在飞行时自动驾驶无法工作，作为放行人员该如何处理？自动驾驶是 FCC 计算机的一个功能，当自动驾驶失效了，是否要把相关的 FCC 计算机整个都办保留呢？首先来回顾下 FCC 计算机的五大功能。

一、FCC 五大功能简介

FCC 计算机有五大功能，分别是自动驾驶、飞行指引、高度警戒、速度配平和马赫配平。有的构型 FCCA 计算机还能够提供自动油门的功能。自动驾驶控制的舵面是副翼和升降舵。副翼是控制飞机沿纵轴做横滚运动，升降舵是控制飞机沿横轴做俯仰运动。主飞控三大舵面分别是副翼、升降舵和方向舵。自动驾驶控制的对象为什么没有方向舵呢？我们来思考一个问题，当飞机在做转弯的时候，如果没有方向舵，飞机还能不能转弯呢？方向舵的作用有两个，协调转弯和偏航阻尼。协调转弯就是协助副翼滚转，飞机在做转弯的时候，如果没有方向舵，飞机也能够转弯，靠副翼慢慢的转，所以自动驾驶控制的对象没有方向舵。

1. 自动驾驶功能简介

自动驾驶，核心计算机是 FCC，一共有两部，FCCA 和 FCCB，在主电子舱。执行机构是自动驾驶作动筒，它的作用就是把 FCC 的指令电信号变成液压的机械输出。自动驾驶作动筒一共有 4 个，2 个副翼自动驾驶作动筒，2 个升降舵自动驾驶作动筒。自动驾驶作动筒的输出杆连着 PCU 的输入杆，所以自动驾驶作动筒的输出就是 PCU 的输入。FCC 从飞机各个系统传感器收

集信息，计算自动驾驶的指令，把它送给自动驾驶作动筒，自动驾驶作动筒的输出就是 PCU 的输入，通过 PCU 控制相应的舵面运动。所有的控制是闭环的，副翼位置传感器和升降舵位置传感器，将实际的舵面位置信息反馈给 FCC 计算机，FCC 将指令的位置信息和实际的位置信息进行比较，如果不一致，再次计算自动驾驶的指令控制舵面到相应的位置。以上就是自动驾驶的工作原理。关于自动驾驶的衔接，是否在所有飞行阶段都能够衔接呢？答案是否定的，在起飞阶段是不能够衔接自动驾驶的，当飞机起飞离地 400 英尺以后，我们才能够衔接自动驾驶。在进近阶段可以接通两套自动驾驶，在爬升、巡航、下降这三个飞行阶段只能够衔接一套自动驾驶。

2. 飞行指引功能简介

飞行指引，FCC 计算机计算飞行指引的指令，通过 DEU 在 PFD 上显示。标示符号有十字杆，也有八字杆。在 MCP 面板上有飞行指引的衔接电门，如果把这个电门打到 ON 位，同侧的 PFD 上会显示飞行指引的符号。

3. 高度警戒功能简介

高度警戒，当飞机飞离或者飞进 MCP 板上所选的高度时，在驾驶舱能够提供一视觉和听觉的提示，提醒飞行员飞离或者

是飞近目标高度。假设飞机在 MCP 上设置的目标高度是5000英尺，当飞机飞近目标高度的时候，距离目标高度900英尺时，高度警戒开始工作，继续飞近，当距离目标高度300英尺时，高度警戒就停止工作。同时在 PFD 右边的高度带上高度读数周围有一个白色的方框，通过 REU 在驾驶舱能听到一个谐音信号。当飞机飞离目标高度，距离目标高度300英尺的时候高度警戒开始工作，继续飞离，当飞机距离目标高度900英尺的时候，高度警戒就停止工作了。同时在 PFD 右边高度带实际的高度读数周围有一个琥珀色的方框包围着并闪烁，同时通过 REU 在驾驶舱能够听到一个谐音信号。高度警戒的工作原理很简单，FCC 计算机接收来自 MCP 板上选择的目标高度信号，同时它也接收来自无线电高度收发机的无线电高度信号和来自 ADIRU 的气压高度信号。FCC 计算机将实际的高度和 MCP 上的目标高度进行比较，如果在门槛值范围之内，就会计算高度警戒的指令。

4. 速度配平和马赫配平功能简介

速度配平和马赫配平，速度配平和马赫配平都是控制飞机的俯仰运动的，速度配平的控制对象是水平安定面，马赫配平的控制对象是升降舵。速度配平工作的条件是起飞时候大推力、低空速、自动驾驶没有衔接的时候才工作的。速度配平的目的是保证飞机低空飞行时速度的稳定性。飞机在起飞的时候是抬头的，这样才会产生一个升力。当飞机的空速减小了，小于正常值，速度配平通过控制水平安定面给到飞机一个低头力矩。当飞机的空速变大了，大于正常值，速度配平通过控制水平安定面给到飞机一个抬头力矩。马赫配平是空速在 0.615 - 0.84 或 0.86 马赫之间开始工作。当飞机的空速比较大的时候，它的升力中心就会后移，飞机会向下俯冲运动，马赫配平通过控制升降舵给到飞机一个抬头力矩，保证飞机在高速飞行时姿态的稳定性。速度配平的工作条件是自动驾驶没有衔接，当自动驾驶衔接以后，FCC 计算机还会不会对水平安定面进行配平呢？当然会配平，这个时候就不叫速度配平了，叫自动驾驶安定面配平。为什么两个名称不一样呢？因为它们俩配平的参考标准不一样。速度配平的目标是保证飞机在低空飞行时速度的稳定性，而自动驾驶安定面配平是为了让安定面和升降舵的位置相匹配，共同控制飞机的俯仰运动。所以虽然都是 FCC 给出的配平信号，但是是两个不同的功能。速度配平的控制对象是水平安定面，马赫配平的控制对象是升降舵，他们都是控制飞机的俯仰运动的。速度配平和马赫配平的控制对象换一下可以吗？答案是否定的，升降舵和水平安定面，最大的区别就是面积不一样，水平安定面的面积大，升降舵的面积小，移动相同的角度，它们产生的位移不一样。相同的位移，当飞机的速度比较大的时候，产生的力矩就比较大，当飞机的速度比较小的时候，产生的力矩就比较小。速度配平工作的条件是飞机起飞的时候低空速、大推力、自动驾驶没有衔接，这个时候如果通过面积比较小的升降舵来控制飞机的俯仰运动，效果是微乎其微的。马赫配平的工作条件是空速大于0.615马赫，飞机的速度比较大，通过控制面积比较大的水平安定面来控制飞机的俯仰姿态，很容易就会调节过度，产生过调。所以速度配平的控制对象是水平安定面，马赫配平的控制对象是升降舵，他们俩是不能互

换的^[1]。

二、自动驾驶失效故障隔离思路

以上就是 FCC 计算机的五大功能，分别是自动驾驶、飞行指引、高度警戒、速度配平和马赫配平。当自动驾驶不工作的时候，是否要把整个 FCC 计算机都保留呢？显然不是的，自动驾驶不工作，不仅和 FCC 计算机本身有关，还和很多外部条件有关。比如 P10 板的自动驾驶安定面配平切断电门，将电门打到 CUT OUT 位，自动驾驶断开；再比如当 FCC 收到来自 SMYD 计算机的抖杆信号时，自动驾驶断开；FCC 收不到气压高度信号时，自动驾驶也会断开。我们知道 FCC 计算机是有五大功能的，自动驾驶失效不一定会导致 FCC 计算机的其他功能也失效。所以一定要进行故障隔离，分两步走，首先要判断是外部故障还是内部故障，如果是外部接口的故障，比如说没有办法接收到无线电高度信号，这时 FCC 计算机本身没有问题，只需把受影响的自动驾驶这个功能保留就可以了，其他的功能是不用保留的。如果是内部故障，还要判断是单一的自动驾驶这个功能失效了，还是 FCC 计算机整个都失效了。如果只是自动驾驶这一功能失效了，没有必要保留其他四个功能。如果是 FCC 计算机整个都失效了，还要排除一下是不是由于人为的拔了 FCC 电源跳开关，导致 FCC 整体失效。有时工作人员需要执行 MEL 的 M 项，拔出 FCC 电源跳开关，导致 FCC 整体失效。如果是 FCC 计算机 LRU 件失效了，就要对 FCC 计算机整个办保留^[2]。

三、DFCS 的三种测试

排故思路有了，通过做测试来实现故障隔离。自动飞行控制系统故障隔离测试有三种，当前状态测试、历史故障驾驶舱效应测试和库测试。当前状态测试可以对 FCC 内部和接口进行快速的扫略测试。测试结果显示有故障的 LRU 和接口。紧接着分别对 FCC 计算机的五大功能进行测试，自动驾驶、飞行指引、马赫配平、速度配平和高度警戒。历史故障驾驶舱效应测试，可以记录最后40个航段的故障和驾驶舱效应。第三种测试就是传说中的库测试了。自动飞行控制系统有一个强大的测试库，包含了所有子系统功能测试的测试项目，一共有70多个测试项目。库测试包括五个功能：接口、舵面、MCP、通告器和 FCC（内部）。接口是指 FCC 和 LRU 接口的测试，比如第一项 ADIRU 接口测试、第5项 DME 接口测试、第7项 LRRR 接口测试等等。舵面是指对相应的飞控舵面和位置传感器进行测试，比如第30项升降舵的测试，31项副翼的测试、34项襟翼的测试等等。MCP 是指对 MCP 上的电门旋钮以及接口进行测试，比如第51项飞行指引电门的测试，55项高度设置旋钮的测试等等。通告器是指对灯和警告进行测试，比如第62项自动驾驶断开的警告测试。FCC（内部）是指对 FCC 计算机内部进行自测试，比如第71项 FCC SELF TEST。自动飞行控制系统的各个功能测试，就是从这70多个基本测试项目中抽取若干个项目组成的。比如 AUTOPILOT

TEST--GROUP NUMBER 11, 自动驾驶测试一共抽取了20多个基本测试项目, AUTOPILOT TEST 就是组名, 11是组号。所有的功能测试都有一个组名和组号。所有的测试有三种类型, 分别是自动测试、交互测试和舵面测试。自动测试是快速的扫略测试, 它不需要任何输入, 也不需要液压。交互测试, 是需要我们操作者进行相应输入的, 做一些特定的工作, 比如拔相应的跳开关, 设置相应的电门等等, CDU 上有操作说明, 交互测试也不需要液压。舵面测试是需要液压的, 有一些也需要做特定的工作。自动测试最先进行, 然后是交互测试, 最后才是舵面测试。

四、故障隔离操作方法

1. 内外部故障隔离方法

下面我们来看 FCC 各功能的验证操作。首先需要做历史故障和历史驾驶舱效应测试, 通过这两个测试排查一下故障原因是 FCC 内部还是 FCC 外部, 是俯仰通道还是横滚通道? 比如通过历史故障测试发现故障描述是无线电高度 INVALID, 有可能的 LRU 是1号无线电高度收发机, 这时我们可以判定是 FCC 外部的故障, 无线电高度接口失效了。

2. 马赫配平功能验证

自动驾驶和马赫配平都会控制飞机的升降舵, 当两个同时工作时, 升降舵该听谁的呢? 自动驾驶没有衔接的时候, FCC 计算马赫配平的指令, 送给马赫配平作动筒。通过升降舵感觉定中组件来控制升降舵 PCU, 再通过 PCU 控制升降舵运动。当自动驾驶衔接以后, 自动驾驶作动筒锁住升降舵 PCU 的输入杆, 马赫配平作动筒控制升降舵感觉定中组件, 但是升降舵感觉定中组件的输出杆不能做动升降舵 PCU 的输入杆, 因为升降舵 PCU 的输入杆被自动驾驶作动筒锁住了, 这时该如何操作呢? 在马赫配平作动筒和升降舵感觉定中组件之间有一个中位偏移传感器, 它会测量升降舵感觉定中组件的输出, 把这个信号送给 FCC, 同时升降舵位置传感器把升降舵的实际位置信号也送给 FCC。FCC 知道升降舵感觉定中组件有输出了, 但是升降舵的实际位置没有变化, 它根据两者的偏差来计算指令送给自动驾驶作动筒, 自动驾驶作动筒通过升降舵 PCU 控制升降舵按照马赫配平的指令来运动, 曲线救国。其实无论自动驾驶是否衔接马赫配平都能够正常工作。

验证马赫配平功能有两个方法, 一个是 DFCS BITE 组测试 13 马赫配平测试, 第二个是通过 P5 飞控面板上的马赫配平失效灯。如果是两部 FCC 马赫配平功能全部都失效了, 这个灯会主动的点亮, 并且不能够复位。如果仅仅是一部 FCC 马赫配平功能失效了, 这个灯不会主动点亮, 我们需要按压系统方式告示牌, 把这个灯 RECALL 出来, 按压 MASTER CAUTION 灯电门可以把马赫配平失效灯复位掉。

3. 速度配平功能验证

不管是速度配平还是自动驾驶安定面配平都是由 FCC 计算的, 它们的配平信号都要经过驾驶杆电门组件、自动驾驶安定面配平切断电门、限制电门这三道关卡才能够送到安定面配平电作动筒。速度配平的功能验证有两个方法, 可以通过 DFCS BITE 组测试 14, 对速度 / 安定面配平测试进行验证, 也可以通过速度配平失效灯进行验证, 当双通道速度配平同时失效了, 速度配平失效灯会主动点亮。当单通道速度配平失效了, 速度配平失效灯不会主动点亮, 可以通过按压系统方式告示牌把这个灯 RECALL 出来, 通过按压 MASTER CAUTION 灯电门把这个灯复位掉。

4. 飞行指引功能验证

飞行指引与自动驾驶不衔接是没有关系的, 它的验证也是有两种方法。第一个是飞行指引故障旗, 当飞行指引故障了, FCC 通过 DEU 在 PFD 上会显示飞行指引的故障旗。第二个是通过 DFCS BITE 组测试 12 飞行指引功能测试来进行验证。

5. 高度警戒功能验证

高度警戒功能验证可以通过 DFCS BITE 组测试 15 高度警戒来进行验证^[3]。

五、结语

综上所述, 波音 737NG 飞机, 当机组反应在飞行时自动驾驶无法工作, 一定要先进行故障隔离, 判断是 FCC 内部故障还是 FCC 外部故障。如果是 FCC 内部故障, 还需要进一步隔离, 是单一的某一功能失效了, 还是 FCC 整体失效了。很多时候只是自动驾驶这个单一功能失效了, 我们就没必要把整个 FCC 办保留, 只需要保留自动驾驶这个功能就可以了。郑重声明, 本论文仅供参考, 不作为实际操作依据。

参考文献

- [1] 李晓光. 民航维修企业如何获得核心维修技术能力 [J]. 中国民用航空, 2005(08).
- [2] 范学斌. 对现代民航维修技术和方法分析 [J]. 科技展望, 2014, (15): 111.
- [3] 李素东. 基于民航飞机维修技术和方法的探讨 [J]. 企业技术开发, 2014, 55: 7—8.