

HNAT 737 技术问题说明

提示单编号	撰写	整编	批准/日期
TIP737-2020-22-001	曾晶	符方洲	羊全流/2020.1.20

标题 MAX 机型 AOA 问题的解释

一、适用性

737NG、737MAX

二、背景描述

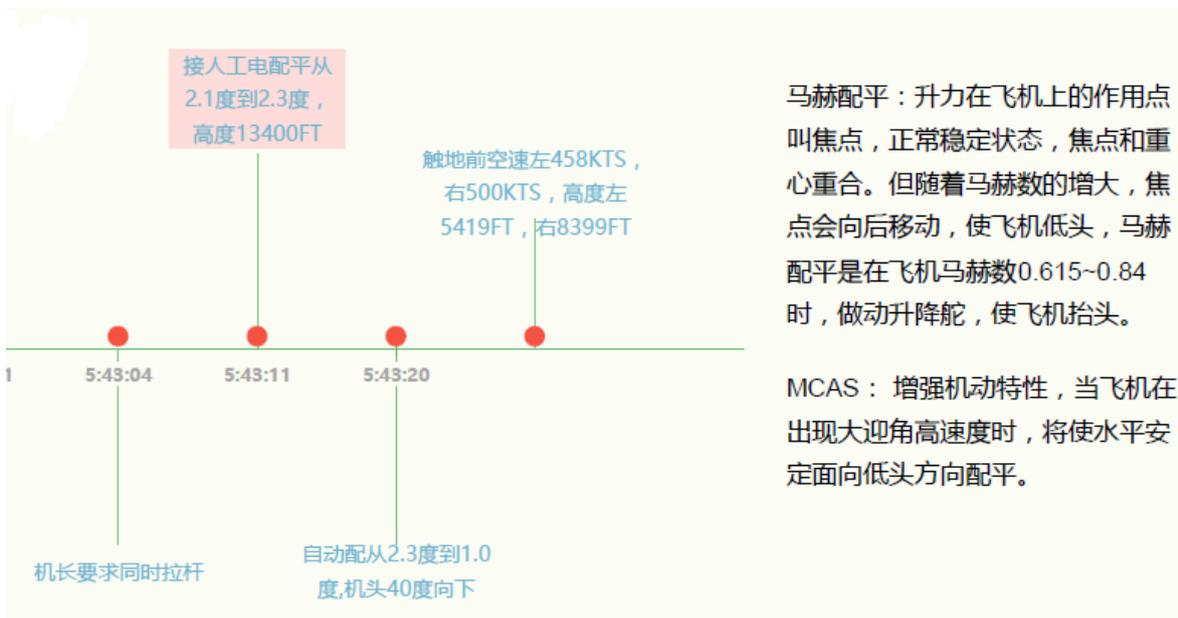
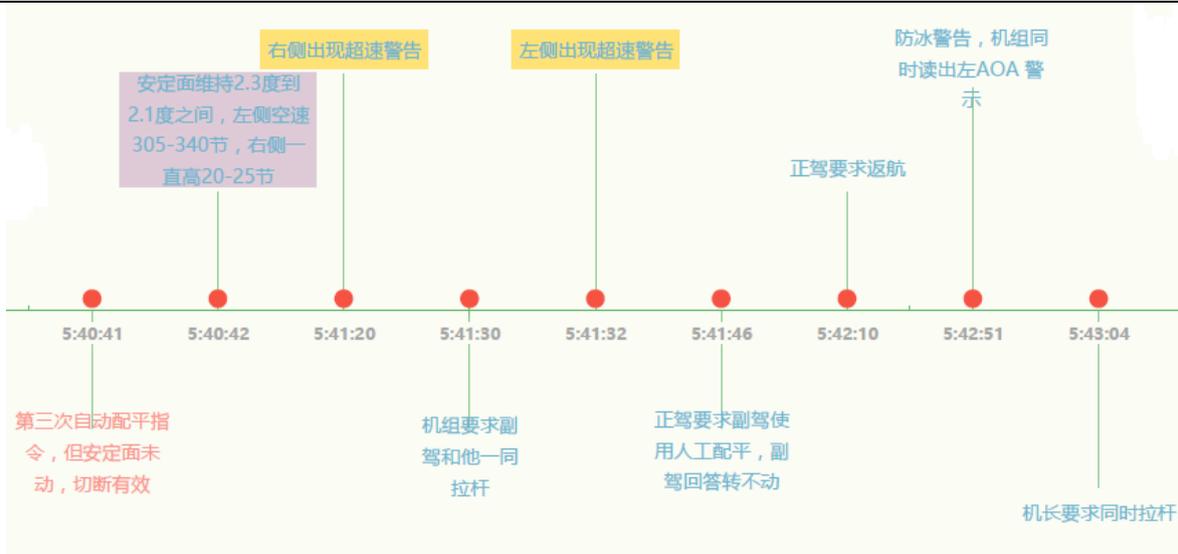
MAX 机型有两架飞机因 AOA 问题失事，进而导致全球停飞，AOA 对改进前 MAX 的 MACAS 功能影响究竟是如何演变的，做简要说明。

三、事件分析

1, 埃航 ET302 的时间轴

以下按事件报告译码的情况拼凑出事件的发展过程





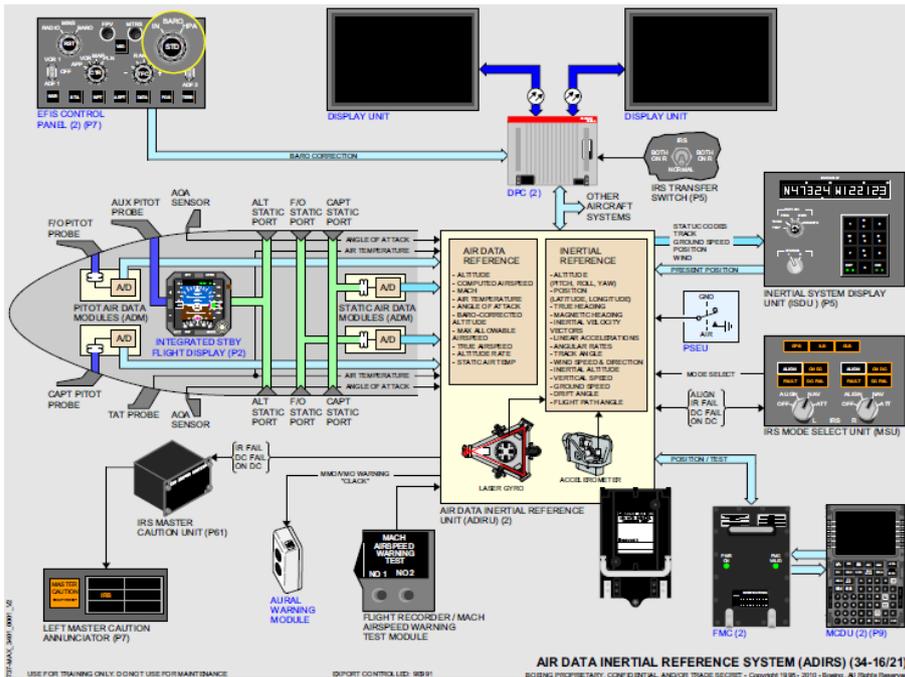
可以看出，在这短短几分钟内，处置上是很纠结的，由于 AOA 角度突变导致 MCAS 进入工作，飞机低头，而机组电动配平后，由于 MCAS 的介入导致再次低头。由于油门一直在起飞功率，飞机越来越快，出现低头力矩，机组在人工切断后，靠人工转动配平轮未成功，因为一直在拉杆，有升降舵的气动力，人工基本上转不动。机组第三次配平后，未切断，导致 MCAS 再次工作，拉杆已经没有什么效果了。可以说是在 MCAS 功能介入下和飞机速度过高的作用下导致的。

四、基本原理

1, AOA 迎角传感器，通过感知周围流场的方向来测量飞机的俯仰姿态，并将该信号传递给 SMYD，用于计算性能数据和提供失速警告。

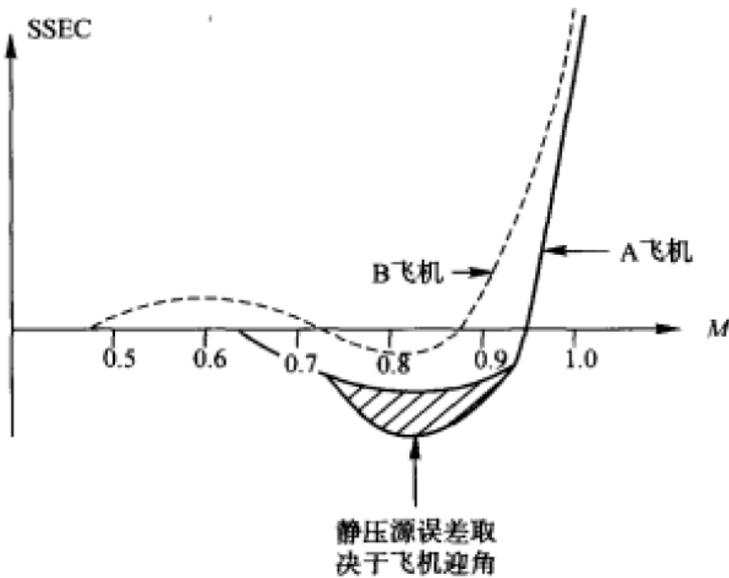
2, 大气数据惯导系统, 为飞行管理系统、自动飞行系统、CDS 和其它系统提供飞机当前位置、空速、地速和姿态等数据。另外飞机上还有一套备用系统，作为应急备份。 MAX 飞机有左右两套 ADIRU 组件。每个 ADIRU 由 3 部分组成：电源部分、惯性基准部分（IRS）和大气数据部分（ADR）。ADIRS 大气数据基准部分接收来自全压 ADM 和静压 ADM 的数字输入和 TAT

的温度输入。它利用这些信号来计算空速、高度等数据。另外，ADIRU 还接收来自 AOA 的模拟输入，用以修正误差。



3, AOA 对气压高度的影响:

飞机左、右静压孔探测静压，静压模拟信号由各自 ADM 处理后转变为数字电信号得到测量静压，再经静压源误差修正（SSEC）后得到修正静压，ADR 根据修正静压计算出标准大气高度数据。其中的静压源误差 SSE 成因之一就是飞机的迎角，因此会使用左右 AOA 的值来对高度进行修正。



4, AOA 对空速 CAS 的影响

空速大小取决于动压，即全压与静压之差；全压由皮托管探测，测量到的全压经 ADM 转换后并在在 ADR 中加以修正得到修正全压；静压由左、右静压孔探测，经静压源误差修正

(SSEC) 后得修正静压。ADR 根据修正全压和修正静压计算得到空速 CAS 和马赫数 Ma。同样的静压源误差 SSE 成因之一就是飞机的迎角，因此会使用左右 AOA 的值来对空速进行修正。

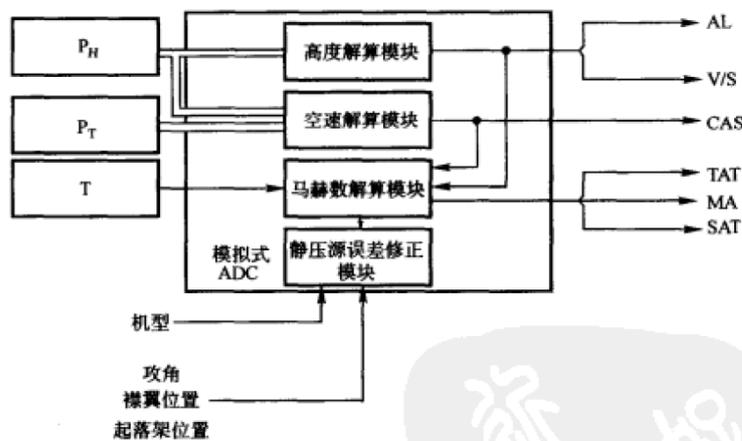


图 3.4-1 模拟式大气数据计算机

5, AOA 对速度的影响

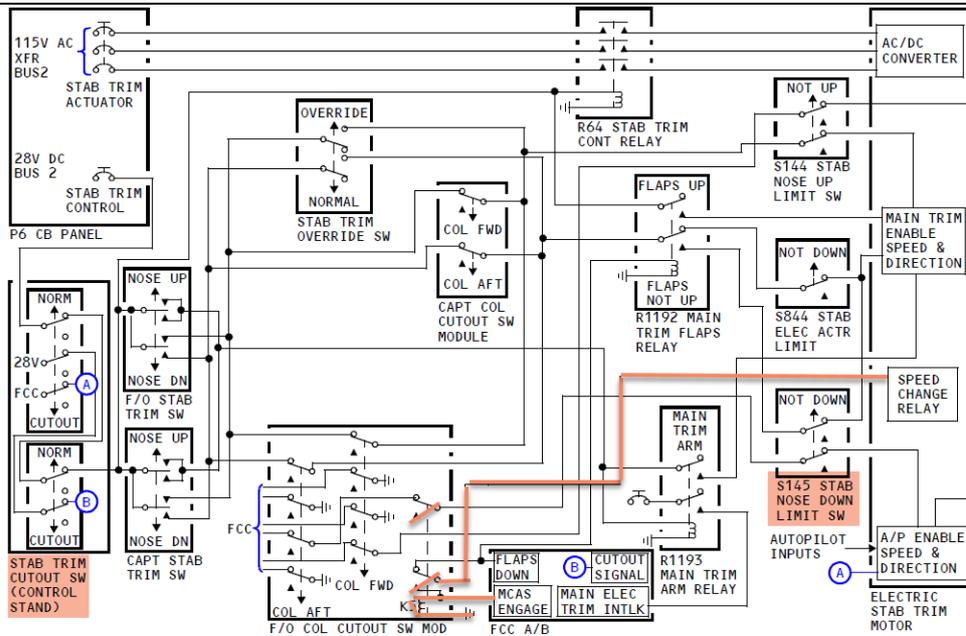
在自动驾驶的情况下，不同的 AOA 角度对应于不同的推力输出，角度越大，所提供的推力也越高。当实际俯仰角度低于 AOA 传感器提供的角度时，就意味着飞机在一个较少的俯仰角将获得较高的空速。

6, 关于 MAX 的 MCAS 功能的说明

MAX 在水平安定面配平控制中，设计上多了一个功能 MCAS (Maneuvering characteristic Augmentation System) 增强机动特性，当飞机在出现大迎角高速度时，将使水平安定面向低头方向配平，当机组拉杆会出现水平安定面反向运动。

该功能由 FCC 计算得出，满足触发 MCAS 功能条件的时候，FCC 供电给副驾驶杆切断电门中的 K5 继电器，继电器吸合给水平安定面马达提供信号工作，使其向 MCAS 功能所需要的低头方向配平。同时杆电门信号也回馈给 FCC 用于计算。

从波音提供的公开信息看，FCC 控制的 MCAS 模式下的低头配平工作一次最多持续 10 秒钟的时间，如果人工操控水平安定面配平可以改出该模式，但在触发条件满足的情况下，人工电配平 5 秒后 MCAS 将再次工作，只有在使用水平安定面配平切断电门才可以终止这一情况，从线路看，使用切断电门后，相当于直接给配平马达的三相供电断电。如果无法改出该模式，水平安定面将持续向低头方向配平直到极限位置，这一功能由 S145 低头极限电门来实现。



五、失效模式分析

由于 AOA 的失效，导致传输给 ADIRU 进行静压源修正的信号异常，ADIRU 计算出的空速和高度均出现不准，导致出现左右空速差和高度差。由于 AOA 的失效，在系统判定存在较大迎角的情况下，提供较高的推力，使飞机速度不断上升。当 FCC 判定存在高迎角和大速度的时候，激活 MCAS 功能，使水平安定面向低头方向配平，这带来更大的速度和姿态的变化。如果此时通过电配平改变飞机姿态，可以短时获得调整。但停止后又进入 MCAS-电配平的死循环中，如果此时尝试拉杆，可通过升降舵来调整飞机姿态，但带来的后果是水平安定面将一直向低头方向进行进行反向配平，直到极限位置，随速度的增加，通过升降舵抵消水平安定面变得越来越困难，如不能一直保持拉杆的动作或超过的这一平衡，就带来飞机姿态的快速变化。如机组操作手册所提醒的，只有切断电配平供电，使用使用手轮来改回安定面的正常位置是正确的处置方案。