

空客 A320 系列飞机双发推力不一致问题的研究

陶波

四川航空股份有限公司机务工程部

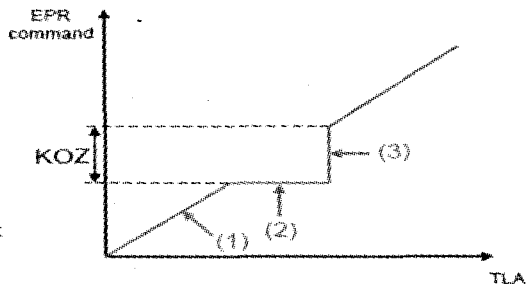
摘要:飞机的起飞、着陆阶段是整个飞行过程中的危险阶段,在此阶段出现问题,留给飞行员的决断时间很短,如何正确处置对保证安全、预防事故至关重要。本文重点分析两种较为常见的、比较典型的、非系统故障导致的、空客 A320 系列飞机(V2500-A5 发动机)起飞加速阶段双发 EPR 不一致问题。

空客 A320 系列飞机机队近年多次出现起飞滑跑加速阶段双发 EPR(发动机压比,表征发动机推力)不一致,引起飞机起飞滑跑跑偏,甚至导致起飞中止,给飞行机组操作和航班运行带来了极大的困扰,经过发动机管理中心会同空客专家、IAE(发动机原厂)专家进行长期跟踪、数据采集和分析,认为近年来较为常见的 A320 飞机起飞加速阶段 EPR 不一致问题,并非系统故障导致,是由飞机本身控制逻辑引起,主要存在两种典型的诱因,下文将主要对有关控制逻辑和诱因做进一步剖析。

一、发动机“KOZ”逻辑导致的 EPR 不一致

* 背景知识及控制逻辑分析

“KOZ”即英文 Keep-Out Zone 的缩写,字面上的意思可理解为“(转速)抑止区域”,该控制逻辑于 2003 年 4 月通过升级 EEC(发动机电子控制)软件到 SCN17 版引入,其目的是为了 V2500-A5 发动机风扇叶片颤振,在地面静止工作状态,EEC 控制逻辑防止发动机低压转子转速(N1)稳定在 61%—74% 范围内,因此,当机组在地面推油门杆加速时,由于“KOZ”的影响,机组可能会观察到发动机推力(EPR 表征)不与油门杆角度成线性增长,如图一所示,油门杆向前移动时,EPR 指令值被冻结在 KOZ 下限区域(2),直至油门杆位置对应的 EPR 指令值超过 1.215 (KOZ 区域上限),EPR 指令值才会迅速上升超过 KOZ 区域上限,此后与油门杆角度变化同步。



图一

此外,根据空客维护手册,发动机油门杆位置对应的 EPR 指令值会随着 T2 温度(发动机进口总温)和机场标高的改变而改变,如图二所示,在油门杆位于 CL 位(爬升位)时,如果 T2 温度高于 30 度,对于标高 0 英尺以上的机场,对应的 EPR 指令值将低于 KOZ 区域的上限,对应的发动机 EPR 指令值将

会被冻结在 KOZ 区域的下限。

T2		ALTITUDE (Feet)				
T2C	T2F	-1000	0	1000	2000	3000
-40.0	-40.0	1.228	1.228	1.236	1.244	1.251
-36.0	-36.4	1.228	1.228	1.236	1.244	1.251
-36.0	-32.8	1.228	1.228	1.236	1.244	1.251
26.0	78.8	1.228	1.227	1.228	1.228	1.228
28.0	82.4	1.227	1.227	1.229	1.227	1.227
30.0	86.0	1.220	1.213	1.213	1.213	1.213
32.0	89.6	1.213	1.206	1.206	1.206	1.206
34.0	93.2	1.206	1.199	1.199	1.200	1.200
36.0	96.8	1.199	1.192	1.193	1.193	1.193
38.0	100.4	1.192	1.186	1.187	1.187	1.189
40.0	104.0	1.186	1.181	1.181	1.182	1.182

图二

* 事件分析

某飞机执行成都—深圳航班时,机组反映起飞加速阶段双发推力(EPR)出现短暂不一致,之后正常,经地面检查并无相关故障信息,试车也未发现参数异常,为确定故障成因,发动机管理中心对 DAR 译码数据进行了细致地解读分析,图三所示为译码数据摘录:

TIME R	EPR1C	EPR2C	TLA1C	TLA2C	SAT	TAT	T2_1	T2_2
17:20:06	1.04	1.03	IDLE	IDLE	26.5	26.5	29.3	31.2
17:20:07	1.05	1.04	IDLE	IDLE	26.5	26.5	29.3	31.2
17:20:08	1.06	1.04	IDLE	IDLE	26.5	26.5	29.3	31.2
17:20:09	1.06	1.05	IDLE	IDLE	26.5	26.5	29.3	31.2
17:20:10	1.08	1.06	CLIMB	CLIMB	26.5	26.5	29.3	31.7
17:20:11	1.12	1.08	CLIMB	CLIMB	26.5	26.5	29.5	31.9
17:20:12	1.19	1.09	CLIMB	CLIMB	26.5	26.5	29.5	31.9
17:20:13	1.24	1.11	FLX-MCT	FLX-MCT	26.5	26.7	29.5	31.9
17:20:14	1.36	1.24	FLX-MCT	FLX-MCT	26.5	26.7	29.5	31.9
17:20:15	1.36	1.36	FLX-MCT	FLX-MCT	26.5	26.7	29.5	31.9
17:20:16	1.37	1.36	FLX-MCT	FLX-MCT	26.5	26.7	29.5	31.9
17:20:17	1.37	1.37	FLX-MCT	FLX-MCT	26.5	26.7	29.5	31.9
17:20:18	1.37	1.38	FLX-MCT	FLX-MCT	26.5	26.8	29.5	31.9

图三

通过译码数据解读,可以看出,双发油门杆从慢车位移动到 CL 位后,停留了 3 秒,其间右发 EPR 被限制在 1.09 左右,而左发快速上升,当双发油门杆推到 FLX-MCT(灵活起飞—最大连续推力)位后,右发 EPR 跳跃性上升,迅速与左发达到平衡,右发 EPR 被限制的状况与“KOZ”逻辑比较一致,但左发 EPR 似乎并未受到“KOZ”逻辑的影响,原因何在?

带着疑问,我们进一步分析译码数据,发现由于飞机/发动机周围温度场分布问题,左、右发 T2 温度存在一定的差异,左发 T2 温度(T2_1)不到 30 度,而右发 T2 温度(T2_2)超过 30 度,根据油门杆位置与 EPR 指令对应表,可以获知,油门杆位于爬升位时,该飞机左发 EPR 指令值高于“KOZ”上限 1.215,而右发 EPR 指令值低于“KOZ”上限,导致虽然双发油

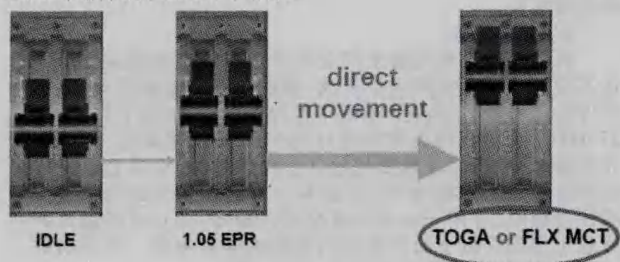
门杆位置一致(均停留在 CLI 位),但左发 EPR 快速上升通过“KOZ”区域,而右发因“KOZ”区域限制,EPR 被冻结在“KOZ”区域下限,当双发油门杆继续前移,右发 EPR 指令值超过“KOZ”区域上限,EPR 跳跃性上升,迅速与左发达到平衡,因此,机组观察到左、右发 EPR 出现短暂的不一致,然后恢复正常。

* 操作建议

根据发动机厂家 IAE 操作指引以及空客公司对 FCOM 3-03-12 程序的解释,建议起飞推力设定如图四所示,按如下两步(双发同步):

a. 推油门杆到一个中间位,N1 转速约 50%(1.05EPR),待左右转速达到对称,稳定

b. 然后,连续不间断、平稳地将油门杆直接推到 FLX MCT 卡槽位或 TOGA 卡槽位



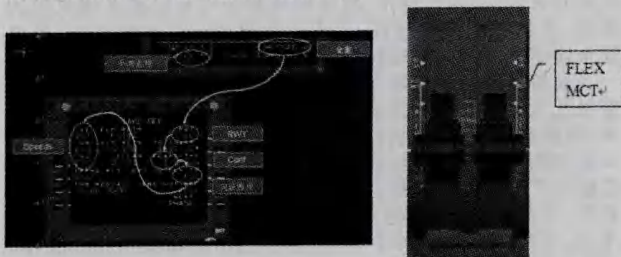
图四

二、发动机 FLEX 起飞模式未激活导致的 EPR 不一致

* 背景知识及控制逻辑分析

发动机全功率起飞会加速发动机的性能衰减,增加飞机/发动机的故障率,大幅降低发动机使用寿命,显著增加维修成本,因此,为降低运行成本,航空公司在符合安全条件的前提下,尽可能采用 FLEX 灵活起飞模式(发动机减推力起飞)。

对于 A320 系列飞机(发动机 V2500-A5),飞行员通过起飞全重、构型等信息查表计算,在允许范围内,设定一个高于外界温度的假设灵活起飞温度,以激活灵活起飞(FLEX)模式;并在起飞时,将油门杆设定到灵活起飞位(FLX/MCT),实现发动机减推力起飞,如图五所示。



图五

根据空客 A320 系列飞机的推力控制逻辑,FADEC(全权数字式发动机控制)系统负责发动机推力管理,如果输入的假设灵活起飞温度低于某一侧发动机的 T2 温度,相关发动机的灵活起飞推力模式(FLEX)将不会被激活,FADEC 系统自动按最大连续推力模式(MCT)管理发动机的推力。

* 事件分析

某飞机执行三亚—成都航班,推油门至柔性起飞位时,机组发现左、右发推力(EPR 表征)不一致,且差异较大。经维护人员进行地面检查,并无相关故障信息,高功率试车各相关参数也未见异常,且双发 EPR 均一致,为进一步确定故障成

因,发动机管理中心会同空客专家对 DAR 译码数据进行细致地解读分析,图六所示为译码数据摘录:

TIME_R	EPR_CMD 1	EPR_CMD 2	EPR1	EPR2	TLA1C	TLA2C	T2_1	T2_2	T_FLEX	SAT
0:19:36	1.06	1.06	1.05	1.05	IDLE	IDLE	34.3	31.7	33	28
0:19:36	1.06	1.06	1.05	1.06	IDLE	IDLE	34.6	32	33	28
0:19:36	1.06	1.06	1.06	1.06	IDLE	IDLE	34.6	32.1	33	28
0:19:40	1.06	1.31	1.07	1.07	CLIMB	CLIMB	34.5	32.1	33	28
0:19:40	1.34	1.31	1.1	1.12	FLX-MCT	FLX-MCT	34.7	32.3	33	28
0:19:40	1.34	1.53	1.21	1.26	FLX-MCT	FLX-MCT	35	32.7	33	28
0:19:40	1.37	1.53	1.35	1.43	FLX-MCT	FLX-MCT	35.3	32.9	33	28
0:19:44	1.37	1.53	1.35	1.53	FLX-MCT	FLX-MCT	35	32.9	33	28
0:19:44	1.19	1.53	1.38	1.53	IDLE	IDLE	34.6	32.6	33	28
0:19:44	1.19	1.03	1.31	1.41	IDLE	IDLE	34.2	32.3	33	28
0:19:44	1.03	1.03	1.21	1.26	IDLE	IDLE	33.6	32	33	28

图六

通过对译码数据的解读,我们发现该起 EPR 不一致事件存在下列几个特征:

1. 双发油门杆迅速迈过 CL 位(爬升位)到达 FLX-MCT(灵活起飞-最大连续推力)位

2. 双发 EPR 同步增加超过“KOZ”区域(上限 EPR 1.215),且 EPR 明显不一致出现在“KOZ”区域上方

3. 双发油门杆位于 FLX-MCT 位时,左、右发 EPR 指令值(EPR_CMD)出现明显不一致(相差 0.16),导致左、右发 EPR 实际值差异显著

4. 假设灵活起飞温度(T_FLEX)高于外界场温(SAT),符合假设灵活起飞温度的设定要求

5. 左发 T2 温度(T2_1)高于输入的假设灵活起飞温度 T_FLEX,而右发 T2 温度(T2_2)低于输入的假设灵活起飞温度 T_FLEX

将上述特征与“KOZ”控制逻辑进行对比,显然该问题不是由于“KOZ”控制逻辑造成的。进一步分析,空客认为虽然该起事件中,假设灵活起飞温度 T_FLEX 高于 SAT,符合假设灵活起飞温度设定的条件,但按照 FADEC 系统的推力控制逻辑,由于左发 FADEC 系统探测的 T2 温度比假设灵活起飞温度 T_FLEX 高,导致该发 FLEX 模式无法激活,转而使用 MCT 模式控制,而右发 FADEC 系统探测的 T2 温度比假设灵活起飞温度 T_FLEX 低,该发 FLEX 模式被正确激活,最终左发执行 MCT 推力控制模式,而右发则执行 FLEX 推力控制模式,形成左、右发推力不一致。

* 操作建议

空客飞行操作方面的专家建议:

a. 输入的柔性起飞温度应尽可能显著高于外界场温

b. 如果出现 FLEX 模式未被激活的“ECAM CAUTION”(类似于“THR LEVER NOT SET”的警告信息)和操作指引时,应按照 ECAM 操作指引进行处置

结束语

飞机起飞加速阶段,如果出现系统故障,油门杆移动的不同步,异常的风速风向等等,都可能成为双发推力不一致的诱因,但本文所述由于飞机本身控制逻辑诱发的起飞加速阶段 EPR 不一致的问题,是非常典型突出、且难以从工程维修角度得到根本解决的,需要通过飞行人员正确理解和操作才能避免和消除,在此,抛砖引玉,以期集思广益。

参考:

空客 A319/A320/A321 AMM 手册

空客 A319/A320/A321 FCOM 手册