

HNAT 737 技术问题说明

提示单编号	撰写	校对	批准/日期
TIP737-2024-75-002	张桃	符方洲	曾晶/2024. 10. 21

标题

CFM56-7B 发动机 VSV 非指令作动

一、适用性

737NG

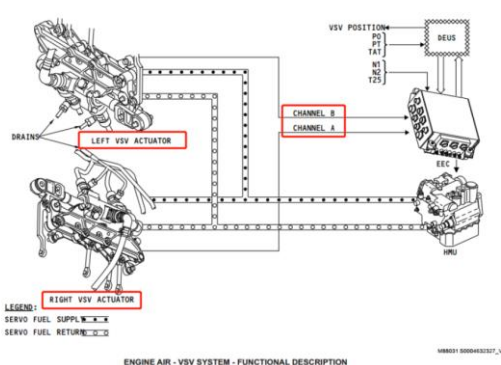
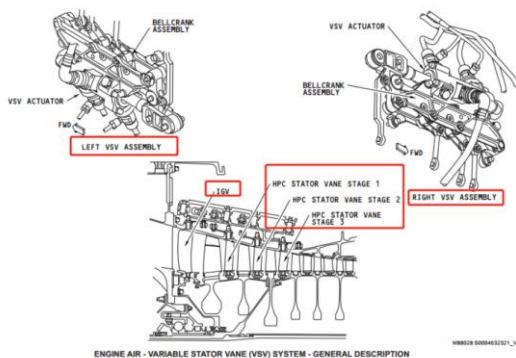
二、背景描述

2024 年 10 月有 737NG 飞机起飞后约 25 分钟，机组反应左发偶有抖动，N1 值有下降，其他发动机参数机组观察未见异常。飞机正常落地。排故更换 HMU、EEC 和 VSV 作动器，试车验证正常。后续飞行正常。

三、解释说明

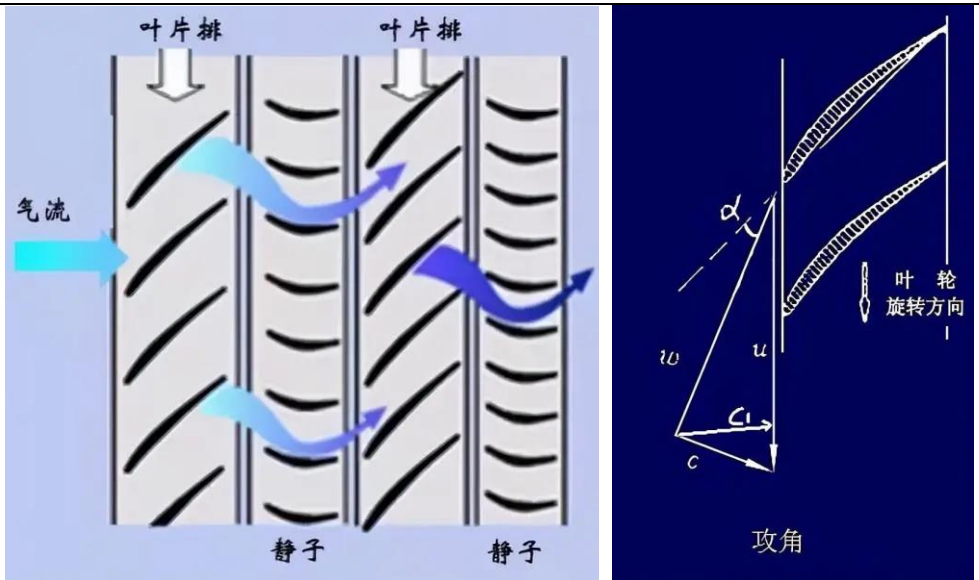
一)、基本原理

VSV 系统包含 IGV、HPC 前 3 级共 4 级可调叶片、2 个作动筒、2 个曲柄组件。EEC 根据 N2 及 TAT、高度等参数调节 4 级叶片角度以调整 HPC 气流参数达到防喘目的。4 级叶片由作动环连接在左右 2 个曲柄机构上，由两个 VSV 作动筒同时作动调节叶片角度。N2 慢车位时 VSV 全关，随 N2 上升打开，到 95%以上 N2 全开。



VSV 作动筒上有 LVDT 给 EEC 作动筒位置（用以表征 4 级可调叶片的位置），发动机左侧 B 通道，右侧 A 通道。EEC 根据位置反馈及 N2、TAT 等参数给 HMU 内 EHSV 指令，调节向 VSV 作动筒的供油方向以改变作动筒位置，调节 4 级可调叶片角度。

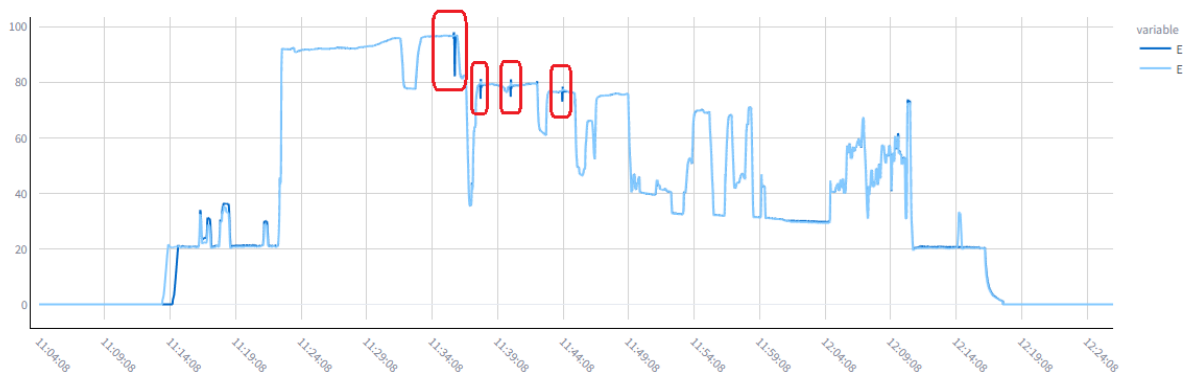
VSV 调整的为 HPC 静子叶片的角度，压气机主要由不动的静子和高速旋转的转子组成。当压气机工作时，转子叶片以很高的速度旋转，对空气做功，使空气速度、压力、温度均升高，空气以较大的速度向后排出。气流离开转子叶片后进入静子叶片中，静子叶片按一定角度排列，叶片间的通道作成扩散形状。空气流在扩散形的静子叶片通道中，流速降低，空气被进一步增压由于速度降低，气体的动能转换成内能，温度还是升高的。增压后的空气以一定角度流出静子叶片进入下一级工作叶片。以上是一级压气机的工作过程，一级包括一圈转子叶片和一圈静子叶片。转子叶片通过转动主要使气流加速加压。静子叶片则将气流减速、扩压和整流，以平顺的流向导向下一级。



当压气机转速一定时，由于某种原因压气机的空气流量减少，导致工作叶轮进口处绝对速度在发动机轴线方向上的分量下降，气流在叶背处发生分离。这种发生在叶背上的现象叫做失速。如果失速叶片过多，会导致压气机喘振。通常意义上，发动机喘振上说的是压气机喘振。喘振是气流沿压气机轴线方向发生的低频率，高振幅的震荡现象。压气机喘振根本原因是气流分离。这种分离是由于压气机工作状态严重偏离了设计工作状态所引起的。

二)、译码情况

译码数据看，整体出现了4次左右发N1的差值。



第一次 UTC 时间：11:35

ENG2TLA (deg)	ENG1N1 (%)	ENG2N1 (%)	差值	ENG1FF (lb/h)	ENG2FF (lb/h)	ENG1N2 (%)	ENG2N2 (%)	ENG1OILP (psi)	ENG2OILP (psi)	FMV_POS (%)	FMV_POS_SEL	FBV_VBV (deg)	FSEL_VSV (deg)	FSEL_VSV_FSEL_VSV	FPS3_SEL_1 (psi)	PS3_SEL_2 (psi)
71.72	97.25	96.63	0.62	5440	5472	99.63	99							1.23	220	218
71.72	95.63	96.63	-1	5408	5472	101.5	99			55.88	57.63		0	1.58	222	218
71.72	98	96.63	1.37	5408	5472	99.5	99									
71.72	96.5	96.75	-0.25	5456	5472	99.13	99	56	59			-0.18			220	218
71.72	96.63	96.75	-0.12	5392	5472	99.13	99							1.23	220	218
71.72	85.25	96.75	-11.5	5328	5456	97.5	99			38.5	57.63		0		172	218
71.72	82.13	96.75	-14.62	3296	5456	98.63	99						-1.58			
71.72	88.5	96.75	-8.25	3712	5456	97.13	99	52	59			0				
71.72	92.63	96.63	-4	4528	5440	98.63	99							1.23	210	218
71.72	95.88	96.63	-0.75	5328	5440	99.13	99			56.5	57.5		0			
71.72	96.13	96.75	-0.62	5280	5440	99	99						1.05		214	218
71.72	96.5	96.75	-0.25	5360	5440	99.13	99	55	59			-0.18				

第二次 UTC 时间：11:37

AP	AQ	AR	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BG	BH	BQ	BR	BX	BY	BZ	CA
ENG1N1	ENG2N1	差值	ENG1FF	ENG2FF	ENG1N2	ENG2N2	ENG1OILP	ENG2OILP	FMV_POS	FMV_POS	SEL_VBV	FSEL_VBV	FSEL_VSV	FSEL_VSV	FPS3_SEL_1	PS3_SEL_2
(%)	(%)		(lb/h)	(lb/h)	(%)	(%)	(psi)	(psi)	(%)	(deg)	(deg)	(deg)	(deg)	(psi)	(psi)	
79	79.13	-0.13	2736	2816	92.13	92.25			36	36.25		0				
79.13	79.13	0	2736	2800	92.13	92.25							5.1		132	132
79.13	79.13	0	2752	2800	92.13	92.25	48	51			0					
78.63	79.13	-0.5	2720	2800	93.25	92.38								4.57	124	132
78.5	79.13	-0.63	2880	2800	95.13	92.38			39.13	36.5		0				
79.75	79.38	0.37	3040	2832	93.25	92.38							0		126	134
77.38	79.25	-1.87	2480	2816	92.13	92.38	48	51			0					
74	79.63	-5.63	2704	2816	91.88	92.75								4.57	134	136
81.13	80.38	0.75	3136	2960	93.38	92.63			37.25	37.38		0				
80.5	79.88	0.62	2960	2896	91.75	92.25							3.87		126	134
77.88	79.25	-1.37	2464	2784	91.5	92.13	47	51			1.93					
78.75	79.25	-0.5	2720	2800	92.25	92.13								5.1	132	132
78.88	79.25	-0.37	2736	2800	92	92.13			35.25	36.13		0				

第三次 UTC 时间：11:40

ENG1N1	ENG2N1	差值	ENG1FF	ENG2FF	ENG1N2	ENG2N2	ENG1OILP	ENG2OILP	FMV_POS	FMV_POS	SEL_VBV	FSEL_VBV	FSEL_VSV	FSEL_VSV	FPS3_SEL_1	PS3_SEL_2	差值
(%)	(%)		(lb/h)	(lb/h)	(%)	(%)	(psi)	(psi)	(%)	(deg)	(deg)	(deg)	(deg)	(psi)	(psi)		
78.63	78.63	0	2656	2704	92.25	92.5							5.63		130	130	
78.63	78.63	0	2656	2704	92.25	92.5	47	50			0						
78.5	78.63	-0.13	2640	2704	92.38	92.5								5.27	128	130	
76.38	78.63	-2.25	2640	2720	91.25	92.63			33.38	35.38		0					
74.75	79.75	-5	2560	2848	93	93.13						6.68			118	134	
81	79.88	1.12	3136	2880	93.5	93.13	47	51			0						
79.75	79.25	0.5	2656	2768	91.63	92.5							4.57		134	130	
77.63	78.88	-1.25	2432	2704	91.88	92.5			36	35.5		0					
78.5	78.88	-0.38	2720	2736	92.25	92.5							6.15		128	130	

第四次 UTC 时间：11:44

AO	AP	AQ	AR	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BG	BH	BQ	BR	BX	BY	BZ	CA	
ENG2TLA	ENG1N1	ENG2N1	差值	ENG1FF	ENG2FF	ENG1N2	ENG2N2	ENG1OILP	ENG2OILP	FMV_POS	FMV_POS	SEL_VBV	FSEL_VBV	FSEL_VSV	FSEL_VSV	FPS3_SEL_1	PS3_SEL_2	差值
(deg)	(%)	(%)		(lb/h)	(lb/h)	(%)	(%)	(psi)	(psi)	(%)	(deg)	(deg)	(deg)	(deg)	(psi)	(psi)		
56.07	76.88	76.88	0	2400	2480	91.13	91.38	46	49			0						
56.07	76.88	76.88	0	2416	2480	91.13	91.38									4.22	122	122
56.07	76.88	76.88	0	2400	2496	91.13	91.38			32.75	33		0					
56.25	73	76.75	-3.75	2384	2480	91.13	91.38							3.16		122	122	
56.6	73.88	77	-3.12	2160	2496	91.13	91.75	45	49			-0.18						
56.6	78.38	77.63	0.75	2672	2560	91.75	91.75								3.87	130	124	
56.43	76.88	77.5	-0.62	2416	2544	90.63	91.63			32	33.63		-0.18					
56.43	76.38	77.38	-1	2304	2544	90.88	91.63							6.15		120	124	

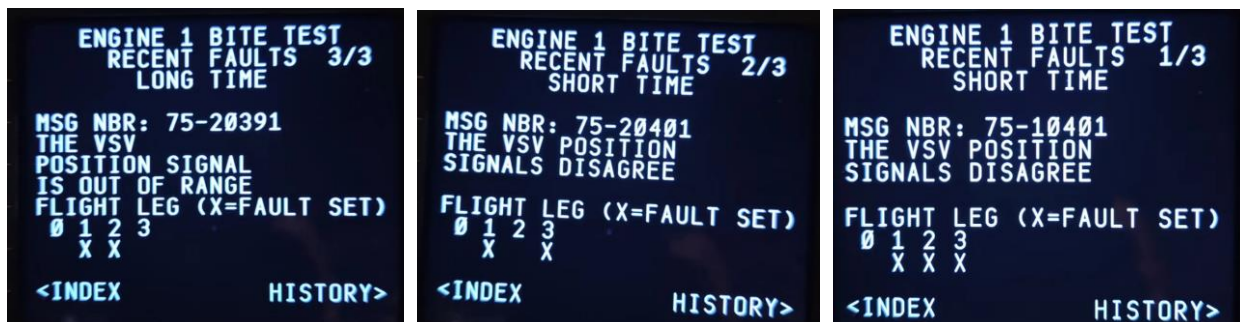
后续飞行正常，没有出现明显的差值的情况。

综合四次译码数据看，主要有以下特征：

- 1、左发可见的有 4 次 N1 减小的问题。
- 2、主要变化有 VSV 角度和 PS3 信号，FMV、FF、N1 的减小，分析为是 PS3 信号变小的结果。
- 3、VSV 的减少分析在 PS3 之前，4 次中有 3 次。（主要受 VSV 的采样为 4 秒一帧的影响，不能看出完全连续的情况）
- 4、都是在 VSV 小角度位置的时候，突然出现更小的变化（气流通道开度变大），叶片攻角变大，发生叶片的分离，失去了扩压的能力，导致 N1 的减小，PS3 相应减少，并带来 FMV/FF 等的变化。

三）、EEC 自检

EEC 自检有如下信息：



75-20391: VSV Position Signal is Out of Range

75-20401: VSV Position Signals Disagree

75-10401: VSV Position Signals Disagree

四)、地面检查情况

- 1、完成外观 FOD 检查，未见异常。
- 2、完成发动机全级孔探，并未发现会导致本次事件的异常表现；油滤和磁堵检查正常。
- 3、完成引气系统检查，包括 5 级单向活门检查和引气系统健康测试，未见异常。
- 4、参考 75-20391、75-20401、75-10401 所对应的 FIM，完成全部线路检查正常。
- 5、执行了两次 VSV 作动机构的检查，均未发现空行程和磨损的问题。
- 6、完成 Test 12 - Actuators Test 正常。
- 7、基于译码数据和检查情况，更换了会影响 VSV 的控制部件，包括 HMU、EEC 和作动器。

五)、故障原因分析

结合译码、故障信息和地面检查情况分析，左发 VSV 出现了异常的作动，导致 VSV 角度减小（气流通道变大），叶片攻角变大，影响了扩压能力，导致 N1 的减少和 PS3 等参数的变化。从排故结果看，是由于 VSV 控制部件导致的。从 GE 的分析出发，双通道的故障，更倾向于是由于 HMU 导致的。后续跟踪部件的送修情况。

四、小结

VSV 非指令作动是极罕见的，VSV 比较多发生的是机械机构的磨损导致的各类信息。此次由于 VSV 控制部件导致 VSV 非指令打开是机队首次。通过译码进行有效的分析，还是能准确定位故障源头。通过对历史数据的追溯，还没有找到精准模型予以提前发现，是后续进一步研究的方向。