

HNAT 737 技术问题说明

提示单编号	撰写	校定	批准/日期
TIP737-2020-36-002	曾晶	张桃	羊全流/2020.4.24

标题 信号管渗漏导致的发动机停车

一、适用性

737NG

二、背景描述

2017 年，某机在地面试车过程中（左 N1=25.3, 右 N1=69.1），开隔离活门后左发转速下降，后停车。检查五级单向活门无异常，高压级健康测试正常。发现 PRSOV 卡在开位，更换 PRSOV 和高压级活门。后进一步检查发现 PRSOV 和高压级调节器的下游公共信号管路漏气，完成更换。这实际上上一起两个部件失效，使引气倒流至核心机，导致左发失去扩压能力，转速不断下降，在无法维持自转速后出现的停车。

三、解释说明

1), 事件经过

1 月 3 日为完成右发在穿越结冰区后振动值高检查工作。依据厂家方案完成 VSV/VBV 检查、孔探和 TVB 更换工作。

1 月 4 日在执行 TBV 更换后的试车工作中，右发前推至 N1=69.1, 打开隔离活门后，左发转速下降，后自动停车。

- 人工反流检查左发 PRSOV 发现左发 PRSOV 卡在半开位不动；
- 使用引气健康测试设备完成双发高压级和 PRSOV 检查正常；
- 拆下检查左发 5 级单向活门正常，更换失效的左发 PRSOV，预防性更换左发高压级活门、右发 BAR；
- 试车检查 N1 80 时，左发引气压力 56，右发 52，使用引气健康测试设备完成高压级调节器反流关断功能检查正常。

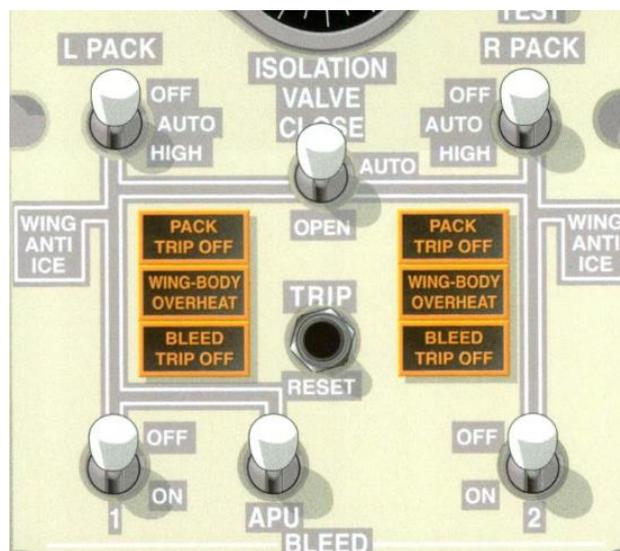
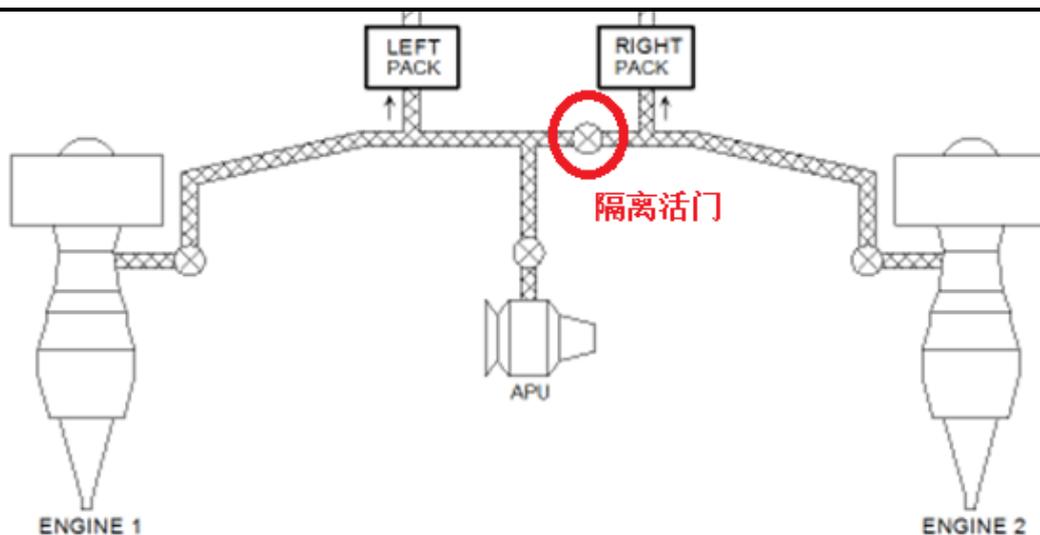
1 月 5 日检查发现与 PRSOV 连接的气管漏气严重，串件更换，预防性更换 5 级活门以及高压级调节器；试车验证，右发 N1 在 70%，左发保持在慢车，隔离活门确保在“auto”位，人工打开隔离活门，观察左发参数，测试正常。

2), 系统原理

整个事件中其实主要涉及到的有 4 个引气部件：隔离活门、PRSOV、公共信号管（PRSOV 和高压级调节器）、高压级活门/调节器。下面就系统原理做逐一说明。

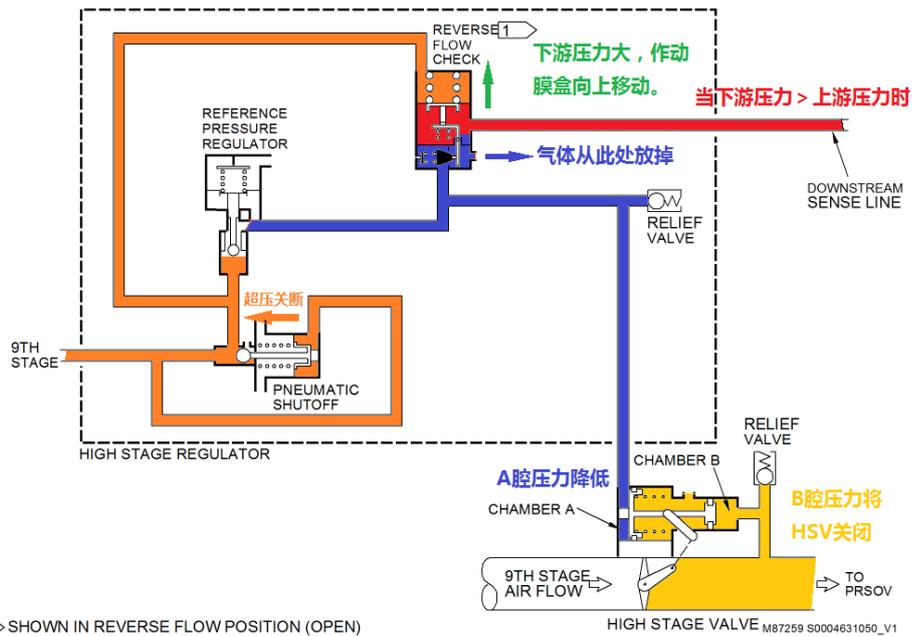
A, 隔离活门

隔离活门将飞机上的引气系统分为两个部分，左半幅为左发引气和 APU 引气，右半幅为右发引气。该活门的控制电门是三位，OPEN、AUTO 和 CLOSE。通常情况下，都放置在 AUTO 位，当双发引气电门和双发组件电门任一在关位时，该活门打开，否则都处于关闭状态。



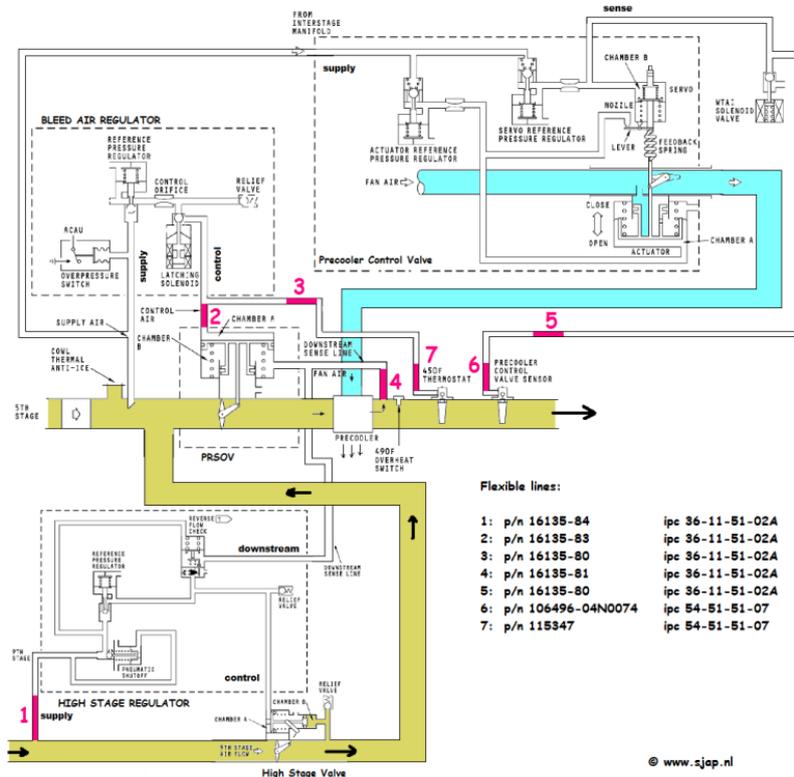
B, 高压级活门/调节器

如下图所示，当发动机处于慢车低功率是，9级未经调压的引气首先进入 HSR 经过内部的基准压力调节后，再将压力恒定的压力信号发送给 HSV 的 A 腔。克服弹簧的弹力和 B 腔的压力驱动 HSV 打开，并控制 HSV 下游压力保持在 $32 \pm 6\text{psi}$ 左右。如果 9th 引气压力 $> 110 \pm 10\text{psi}$ 时，HSR 就会超压关断。而 5th 和 9th 的转换是发生在 N1 53%左右，5th 引气压力大于 32psi，B 腔压力推动 HSV 关闭。当下游管道压力大于上游压力时，反流的引气压力作动 HSV 的反流机构，使膜盒向上移动，控制 A 腔作动的引气被释放掉。使得 A 腔压力降低，不足以克服 B 腔压力和弹簧的弹力，HSV 关闭，从而达到反流关断的效果。如果，下游信号管路存在漏气，则使该功能部分失效或失效，取决于漏气量的大小。



C, PRSOV 和公共信号管

如下图所示，此次失效的公共信号管为图中 4 管路，位于 PRSOV 的下游，感受经过调压后的引气压力，并将信号反馈给 PRSOV 的 B 腔和高压级调节器返流保护机构。对高压级调节器影响已经在上文说明过。对于 PRSOV 的影响是，当下游压力变大，B 腔压力增加，推动 PRSOV 向关的方向。如果信号管漏气，则 PRSOV 的减少量变小，导致引气压力大于设定值。



3), 译码数据分析

当隔离活门打开后，可以发现 N2 参数最先出现变化，呈缓慢下降趋势，此时受返流影响，气流通道已经发生堵塞，进而出现，扩压能力减小，做功能力减小。带来 N1 的变化，而 PS3 由于气

压的减少，也随之下降，燃油流量呈现不规则变化和整体下降，当紊流进一步扩展，N2 转速逐渐下降至发动机无法维持自转的速度后，发动机出现停车。

UTC 时间	1 发 起动手柄	2 发 起动手柄	左 N1	右 N1	左 N2	右 N2	1 发 燃油 流量	1 发选 择 EGT (T495)	ESC 隔离 活门	1 发选择 PS3
8:41:58	RUN	RUN	25.2	69.3	64.2 5	87.625	333	455	CLOSED	38
8:41:58	RUN	RUN	25.3	69.1	64	87.875	304	452	OPEN	
8:41:58	RUN	RUN	25.6	69.3	63.5	88	239	440	OPEN	38
8:41:58	RUN	RUN	25.5	69.3	62.8 75	88	224	427	OPEN	
8:42:02	RUN	RUN	25.2	69.3	62.3 75	88	224	418	OPEN	36
8:42:02	RUN	RUN	24.8	69.3	62	88	239	411	OPEN	
8:42:02	RUN	RUN	24.7	69.5	62	88	261	408	OPEN	36
8:42:02	RUN	RUN	24.7	69.3	62.1 25	87.875	275	409	OPEN	
8:42:06	RUN	RUN	24.8	69.2	62.3 75	88	283	410	OPEN	36
8:42:06	RUN	RUN	24.8	69.3	62.3 75	88	275	409	OPEN	
8:42:06	RUN	RUN	24.8	69.3	62.3 75	88	261	407	OPEN	36
8:42:06	RUN	RUN	24.8	69.7	61.8 75	88	261	404	OPEN	
8:42:10	RUN	RUN	22.1	70.1	59.3 75	87.5	246	413	OPEN	20
8:42:10	RUN	RUN	19.5	70	57.3 75	87.625	232	430	OPEN	
8:42:10	RUN	RUN	17.6	69.7	55.6 25	87.875	224	428	OPEN	18
8:42:10	RUN	RUN	16.2	69.8	54	88	232	441	OPEN	
8:42:14	RUN	RUN	15.2	70.1	52.5	87.875	261	457	OPEN	18
8:42:14	RUN	RUN	14.5	69.8	51.1 25	87.75	254	473	OPEN	
8:42:14	RUN	RUN	13.8	69.8	49.7 5	87.75	254	487	CLOSED	16
8:42:14	RUN	RUN	13.2	69.8	48.6 25	87.875	232	499	CLOSED	
8:42:18	RUN	RUN	12.8	70	47.3 75	87.75	224	508	CLOSED	16
8:42:18	RUN	RUN	12.3	70	46.3 75	87.75	224	517	CLOSED	
8:42:18	RUN	RUN	12	69.8	45.3 75	87.875	224	525	CLOSED	16

8:42:18	RUN	RUN	11.7	69.8	44.1 25	87.875	43	534	CLOSED	
8:42:22	RUN	RUN	11.6	70	42.1 25	87.875	0	523	CLOSED	14
8:42:22	RUN	RUN	11.2	70	40.1 25	87.875	0	497	CLOSED	
8:42:22	RUN	RUN	11	69.8	38.3 75	87.875	0	476	CLOSED	14
8:42:22	RUN	RUN	10.5	70	36.6 25	87.875	0	460	CLOSED	
8:42:26	RUN	RUN	10.1	69.8	35.1 25	87.875	0	447	CLOSED	14
8:42:26	CUT OFF	RUN	9.7	69.8	33.6 25	88	0	436	CLOSED	
8:42:26	CUT OFF	RUN	9.3	70	32.3 75	88.125	0	429	CLOSED	12

4), 失效原因说明

此次的左发停车是由于多重因素失效导致的。右发推至 N1=69.1 引气压力较高（60PSI），在隔离活门打开后。右发的高压引气进入到引气公共管路，由于公共信号管路漏气和 PRSOV 卡滞，导致 PRSOV 级的返流关闭功能失效。右发的高压级引气进入到左发引气管理中，由于下游公共信号管路漏气，高压级调节器失去返流保护功能。发动机机 9 级通在慢车转速时的引气压力值为 21.4PSI，低于右发过来的高压气。右发引气进入到左发的本体涵道中，破坏了左发的气流通道，出现堵塞甚至返流。左发失去扩压能力，转速不断下降，在无法维持自转速后出现停车。

四, 小结

此次故障是由于 PRSOV 卡滞和下游信号管路漏气，导致 PRSOV 和高压级调节器失去返流保护功能。右发推力至 69.1N1 产生了相对较高的引气压力，在打开隔离活门后，返流至慢车的左发核心级涵道，导致左发失去扩压能力，转速不断下降，在无法维持自转速后出现停车。故障在地面和空中再现的条件较为苛刻。引气系统健康检查中，设备测部件，返流看漏气，互为补充，需要在检查中重视。

再现此类故障，需要诸多条件同时满足。

1, 隔离活门开。（可人工放 OPEN，或满足自动打开的条件，任一组件或引气电门关闭。组件跳开后，QRH 要求隔离活门放 CLOSE 位，隔离活门不会打开；引气跳开后，只有单向气源，不存在影响；机组执行无增压或者无引气起飞适用）

2, PRSOV 失去返流保护功能。（PRSOV 卡滞，下游信号管漏气）

3, 高压级部分失去返流保护功能。（高压级调节器失效，高压级活门卡滞，下游信号管漏气）

4, 由于引气压力相对恒定 32+/-8，通常最大为 40PSI 左右，能返流进入到发动机核心级，即需要该发在相对较小的推力。可供参考的高压级压力是，慢车 21.4PSI；巡航 N1=84.7N1、116PSI；最大连续 N1=91.4N1、137.8PSI；起飞功率 N1=93.5N1，145.1PSI。

综上，出现由于引气返流导致的发动机停车，需要隔离活门在打开的情况下，PRSOV 和高压级同时失去了返流保护功能。同时，发动机推力需要收回在近慢车的位置情况下，才会导致。