

世界民航事故调查跟踪

2011年第5期(总第20期)

适航维修专辑



中国民航大学民航安全科学研究所

二〇一一年五月

目 录

事故调查报告：快达航空 B744 马尼拉附近高空机身破裂.....	1
事件调查：斯堪的纳维亚航空 A321 着陆时前起落架损坏.....	11
事件调查报告：法国航空公司 B773 飞机拉各斯中断起飞.....	13
事件调查：达美航空 B752 发生发动机非包容性失效.....	16
事件调查报告：Ayk Avia 航空 IL76 沙迦起飞时机轮断裂.....	19
调查报告：加拿大航空 A333 飞机飞行中发动机燃油不足.....	21

事故调查报告：快达航空 B744 马尼拉附近高空机身破裂

2008 年 7 月 25 日，一架快达航空公司波音 747-400 客机(注册号 VH-OJK)，载有 346 名乘客和 19 名机组人员，执行从中国香港飞往澳大利亚墨尔本的 QF30 航班。飞离香港爬升通过 FL290 高度层时，随着一声巨响，座舱压力骤降，机组实施紧急下降，在 FL100 处进入平飞，改航菲律宾马尼拉并安全降落，事故中没有人员伤亡的报告。

澳大利亚运输安全局(ATSB)报告称，机身右侧的机翼根处开了一个约 2 到 3 米的大洞，有一段机身部分从飞机上脱落了。这架飞机在没有借助外部援助的情况下滑行到了停机位。



图 1：事故飞机上的洞

2010 年 11 月， ATSB 发布了此次事故的最终调查报告，总结如下：

起作用的安全因素：

- 飞行期间，一个高压氧气瓶破裂，其储存的氧气猛烈喷出。

- 氧气瓶中的高压氧气突然泄漏造成的冲力使飞机机身局部破裂，并且使飞机不受控制的释压。



图 2：破裂的蒙皮及氧气瓶

其他安全因素：

- 释压后，飞机的左甚高频全向信标（VOR）导航系统和三套仪表着陆系统（ILS）全部失效。
- 释压后，飞机的左飞行管理计算机（FMC）失效。
- 释压后，飞机右起落架防滑刹车系统部分失效。
- 在机舱应急氧气系统自动工作的情况下，一些乘客的服务单元未能放出其内置的氧气面罩。
- 在自动客舱广播磁带放声器（PATR）系统失效之后，客舱乘务员需要对乘客大声提醒或指示其氧气面罩的使用方法。
- 营运人的客舱应急程序不包括万一 PATR 发生故障时机组人员应采取的特定措施。 [次要安全问题]

- 提供给乘客的安全信息中，对于储存袋不需要加压膨胀氧气就会流入面具的解释说明不完整。 [次要安全问题]
- 一些乘客没有恰当地开启并（或）扣好他们的氧气面罩，或者不能保证他们的家属已经这样做。
- 许多乘客的氧气面罩上的带子失去了伸缩性，使得他们必须自己动手扶持面罩。
- 一些客舱乘务员对氧气面罩的供氧指示系统的理解不恰当。 [次要安全问题]
- 一些客舱乘务员在飞行机组允许其继续履行职责之前就离开了他们的岗位或位置去帮助乘客。
- 一些客舱乘务员对飞机应急下降概念的理解不恰当，导致误解了当时情势的严重性。 [次要安全问题]
- 在应急响应过程中，有几名客舱乘务员暂时丧失部分履行职责的能力。
- 乘务员训练设施没有复制飞机上安装的相应设备，包括下拉氧气面罩装置。 [次要安全问题]
- 虽然营运人的工程机构通过了一般质量认证（ISO 9001），但其用以检查、维护和重新鉴定氧气瓶的专门程序和设施没有经过独立认证。 [次要安全问题]

其他关键调查发现：

- 氧气瓶破裂后的轨迹和其在机舱撞击造成的损坏，与氧气瓶冲破底部的半球形圆顶，或者氧气瓶在（或对着）较低的过渡圆顶上，造成的断裂相一致。
- 氧气瓶失效的方式是非典型的，这暗示了存在某种缺陷或作用机理削弱了氧气瓶，使其倾向于发生这种方式的失效。
- 作为调查工作的一部分的测试和研究表明，DOT3HT-1850 型号氧气瓶本身的设计是具有内在鲁棒性和容损性的。
- 调查无法找出其他任何一个 DOT3HT-1850（或类似的）航空氧气瓶有在正常运营使用中破裂或破坏性失效的历史案例。

- 没有证据证明 DOT3HT-1850 规格的飞行人员呼吸氧气瓶的设计和结构的任何方面可能更容易导致该型号在使用中发生过早且破坏性的失效。
- 没有证据证明，与件号 (S/N) 为 535657 的失效氧气瓶同一生产批次的其他产品，会有更高的发生过早且破坏性失效的可能性。
- 没有证据证明，氧气瓶在使用期间的搬动、维护和操作的过程和程序以任何方式造成了失效事故，或者存在促成这种形式的失效的可能性。
- 没有证据证明，在飞行期间或之前的任何时刻氧气瓶或其相关系统已遭受损坏，可能导致其过早爆炸。
- 没有证据证明有造成或促使氧气瓶失效的恶意行为。
- 飞行机组做出了一个符合规则，管理良好且恰当的应急响应，尽量降低了在释压和继续飞行中风险。
- 客舱乘务组释压响应的整体管理是有效的，并且直接保障了乘客的安全。

在报告的摘要中 ATSB 写下调查总结：

ATSB 已完成关于高压氧气瓶在飞行期间破裂和飞机受损释压造成的后果的调查。由于故障氧气瓶显然在释压事件中从飞机上丢失了，使得调查时间延长，并且调查难度也大大增加。

尽管有这么大的障碍，ATSB 的调查被证明成功地揭示了这次失效事故是罕见的小概率事件，还确定了现有的为增压式飞机的乘客及机组人员紧急补充氧气的体系和程序的安全性。

调查发现，没有其它关于航空氧气瓶（民用或军用）破裂的案例记录。但此类氧气瓶在航空领域内已长期广泛应用，所以显然本次事件的发生是个很罕见的事故。

一个关于与故障氧气瓶同类型，且同一生产批次生产的氧气瓶综合检查评估程序，没有发现氧气瓶的任何设计或制造方面可能对氧气瓶的使用完整性带来危险的证据。已公布的维修程序被认为是有效且周全的，检查制度也被认为是恰当合理的。

ATSB 认为，根据这些研究结果，配备了 DOT3HT - 1850 氧气瓶的乘客、机组人员和飞机运营人可以放心，在飞行期间内发生氧气瓶故障且造成飞机损坏的

风险仍然很低。

ATSB 确定并调查了以下可能情况：

- ✓ 氧气瓶有制造缺陷，后来在使用中逐渐严重；
- ✓ 氧气瓶在最近的大修和检查之前的某个时间严重损坏；
- ✓ 氧气瓶在最近的大修和检查过程中严重损坏；
- ✓ 氧气瓶在最近的大修和检查之后的某个时间严重损坏；
- ✓ 氧气瓶在发生事故的那次飞行中严重受损。

调查无法在航空领域中找到任何一个氧气瓶故障的先例。确实曾发生过氧气瓶故障，但是所有这些事故都是由像飞行中起火或是意外撞击受损这种外部影响引起的。在一般工业领域中，压缩气体气瓶故障的原因是由于阀门损坏或保养行为不正确引起的过度腐蚀或材料老化。

只有氧气瓶的阀门的一部分还在飞机上，这表明在故障发生时该阀门是完全打开的，证明断裂痕迹与钝性撞击和拉伸/弯曲力相一致，该阀门没有遭受任何超压情况，也没有发生过燃烧事故的证据。

调查发现“氧气瓶的故障类型很不寻常，暗示存在着缺陷，或作用机理会直接导致破裂事故。”尽管广泛考察研究了现有证据和假设情况，但无法确定某些特定因素与故障事故有关联。尽管调查没有确定的结果，但研究表明该型氧气瓶仍适合使用。

安全行动

1、飞机营运人

1.1 释压事故和自动客舱广播故障的应急程序

次要安全问题

驾驶员机舱应急程序不包括万一客舱广播磁带放声器 (PATR) 发生故障时机组人员应采取的特定行动。

处置措施

营运人告知 ATSB，应急程序已修改，要求飞行机组当发生机舱释压事故且 PATR 系统故障时，采取直接人工客舱广播 (NSA-092)。

ATSB 对措施的评价

ATSB 认为该措施圆满解决了此安全问题。

1.2 关于氧气面具的使用说明信息不完整

次要安全问题

提供给乘客的安全信息中，对于储存袋不需要加压膨胀氧气就会流入面具的解释说明不完整。

处置措施

营运人指出，为乘客提供的标准航前安全视频/说明已经修改，强化了使用者必须大力拉下面具以启动氧气流入的提示，还包括了‘不用给储存袋加压氧气就会流入’的解释(NSA-056)。

ATSB 对措施的评价

ATSB 认为该措施圆满解决了此安全问题。

1.3 客舱乘务员关于氧气系统的知识

次要安全问题

- 一些客舱乘务员对氧气面罩的供氧指示系统的理解不恰当。
- 客舱乘务员训练设施没有复制飞机上安装的相应设备，包括下拉氧气面罩装置。

处置措施

营运人告知 ATSB，为了准确无误地模拟发生释压事故时的飞机客舱，目前所有用来训练客舱和飞行机组成员的设施都配备了相应的下拉氧气面具装置。所有涉及释压事故的训练模块都已改进升级了，并且已由工作人员负责在所有训练项目中贯彻使用(NSA-057)。

ATSB 对措施的评价

ATSB 认为该措施圆满解决了这些安全问题。

1.4 客舱乘务员关于紧急下降概念模糊

次要安全问题

一些客舱乘务员对飞机紧急下降概念的理解不恰当,导致误解了当时情势的严重性。

处置措施

营运人建议 ATSB,应改进在应急程序训练期间使用的资料,以加深对可能紧急下降概念的理解(NSA-093)。

ATSB 对措施的评价

ATSB 认为该措施圆满解决了这些安全问题。

1.5 实验室认证

次要安全问题

虽然营运人的工程机构通过了一般质量认证 (ISO 9001),但其用以检查、维护和重新鉴定氧气瓶的专门程序和设施没有经过独立认证。

处置措施

营运人告知 ATSB,他们已着手在工程元件车间开展一个更换设备和工作人员培训再认证的计划,预计 2010 年 11 月 15 日完成(NSA-104)。计划包括:

- 由 US DOT (美国交通部) 认证的监察员做新流体静压测试设备的检查和认证;
- 由一名 DOT 认证专家为氧气瓶测试车间现有的 7 名工作人员做培训再认证;
- 由一名 DOT 认证专家为氧气瓶测试车间的 3 名新工作人员做培训。

ATSB 对措施的评价

ATSB 认为该措施圆满解决了这些安全问题。

1.6 其它安全措施

机队检查

经民航安全局(CASA)同意,事故发生两天后,营运人启动了一个关于波音 747 氧气系统设施的详细的安全检查,该项目涉及整个机队。ATSB 被告知这些检查已在 2008 年 8 月 1 日之前完成。

客舱程序

通过对事故的内部调查和检查，营运人发现改进程序能提高参与应急响应的客舱乘务员的效率。因此，客舱乘务员应急程序按如下方式改进：

一旦接到飞行机组关于“客舱乘务员继续履行职责”的广播：

- 客舱服务经理（CSM）应该：
 - ◇ 返回/继续呆在指定的通讯位置
 - ◇ 准备好一旦发现乘客受伤和飞机损伤，马上向飞行机组报告
- 其它所有客舱乘务员应该：
 - ◇ 检查乘客受伤和飞机损伤情况，并向 CSM 报告检查结果
 - ◇ 如果需要，展开急救并给乘客佩戴氧气装置
 - ◇ 当乘客不需要氧气时关掉乘客服务单元 (PSU) 的出气阀门
 - ◇ 清理并保存好客舱内散落的物品

2、民航安全局 (CASA)

2008 年 7 月 29 日，一个来自 CASA 悉尼空中交通科办公室的适航小组视察了营运人的氧气瓶检修车间和流体静压测试设备，还检查了保存、使用、检查、检修氧气瓶并为其做流体静压测试的程序。此次视察包括与维修及管理部门的工作人员的讨论，这些讨论涉及工艺和检查程序，工卡的检查，计算机系统，训练记录，见证了测试程序。

CASA 发言人称，通过这次视察，他们对营运人在事故响应中采取恰当的行动感到满意。

3、澳大利亚运输安全局

3.1 客舱安全

次要安全问题

提供给乘客的安全信息中，对于储存袋不需要加压膨胀氧气就会流入面具的解释说明不完整。

ATSB 安全建议通告 A0-2008-053-SAN-105

ATSB 建议配备加压气态氧气系统的运输类飞机营运人应该考虑这些可能涉

及的安全问题，以确保乘客使用说明中关于系统功能及恰当启动氧气流入的关键动作能提供足够的细节和指导。

3.2 氧气系统

众所周知，不管是确定的还是可能的安全问题，在安全事故响应中采取的任何矫正的或预防的行为都应该是合理的。然而，鉴于释压事故的特点，以及可能会影响飞行环境中的氧气瓶的完整性和安全性的机械装置或条件，ATSB 对以下建议通告表示关注。

ATSB 安全建议通告 A0-2008-053-SAN-006

ATSB 鼓励所有开展航空氧气瓶的检查、测试、维护和修理活动的机构，注意在本报告中描述的情形，以确保所有相关的程序、设备、技术和员工资质符合相关规定的要求并确定工程最佳方法。

ATSB 安全建议通告 A0-2008-053-SAN-106

ATSB 鼓励所有开展航空氧气瓶的检查、测试、维护和修理活动的机构，注意在本报告中描述的情形，以确保所有机构的程序、工艺和装备获得独立外部认证并保持认证状态。

ATSB 安全建议通告 A0-2008-053-SAN-007

ATSB 鼓励配备了加压气态氧气系统的其它运输类飞机的营运人，注意在本报告中描述的情形，以确保所有氧气瓶及其设备的维护完全符合相关制造商的要求、法规规章及公认的工程最佳方法。

3.3 航空研究及分析报告

ATSB 研究及分析部门已发布两份报告，作为给增压式飞机的乘客和客舱乘务员的信息通报。

- 在飞机释压事故中保证安全 - 乘客信息通报。航空研究及分析报告 AR-2008-075(1)
- 飞机释压事故 - 客舱乘务员信息通报。航空研究及分析报告

AR-2008-075(2)

发布该通报是为了能使乘客和客舱乘务员更好地理解释压事故对个人的潜在危险，简报还给出了能使受伤的风险降至最低的行动建议。

ATSB 网站提供资讯信息通报下载，下载地址如下：

乘客简报：<http://www.atsb.gov.au/publications/2008/AR2008075.aspx>

客舱乘务员简报：

http://www.atsb.gov.au/publications/2009/AR2008075_2.aspx

事故调查报告下载地址：

<http://www.atsb.gov.au/media/2409291/ao2008053.pdf>

翻译：赵青； 校对：徐蕾

事件调查：斯堪的纳维亚航空 A321 着陆时前起落架损坏

2010 年 6 月 5 日，一架丹麦斯堪的纳维亚航空公司（SAS）空客 A321-200 型客机（注册号 OY-KBE）执行从西班牙马拉加飞往丹麦哥本哈根机场的 SK-584 航班任务，机上搭载有 182 名乘客和 6 名机组人员。飞机在哥本哈根机场 22L 号跑道正常着陆，当脱离跑道后经滑行道 B4 驶入滑行道 B 时，机组报告飞机前机轮转向出现了问题。与此同时，前起落架有烟雾冒出。飞机停止在滑行道 B 上，乘客下机进入滑行道后坐大巴前往航站楼。到达的应急服务人员发现前起落架已经转动了 90 度。

丹麦事故调查委员会（HCL）发布了关于此次事件的公告（丹麦语），公告称前起落架组件中的扭力臂顶部螺栓脱落。该螺栓随后在 22L 号跑道上找到。

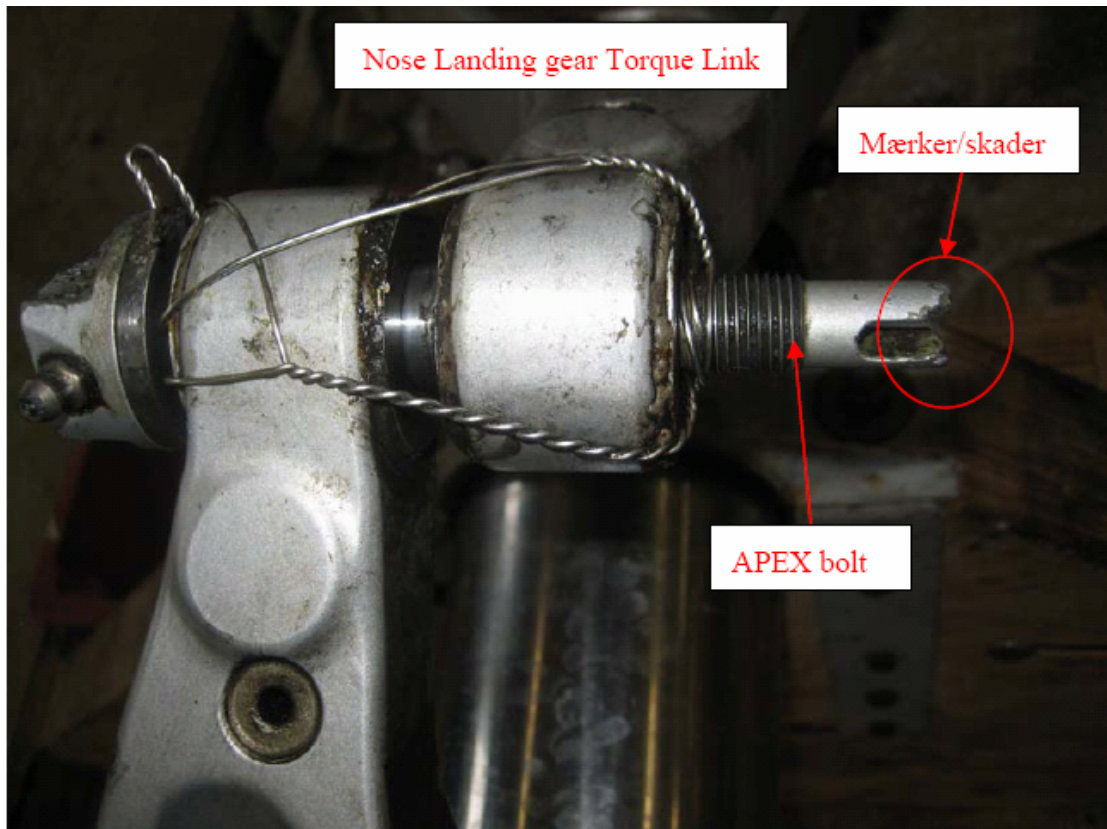


图 1：顶端螺栓

运营人报告说在 2010 年 1 月 5 日至 6 日对扭力臂进行的维修工作中，对其进行过拆卸。两名机械师结束了此项工作，但未进行标注。2010 年 6 月 3 日，一个前机轮需要更换，更换工作不需要拆开并重新连接扭力臂。

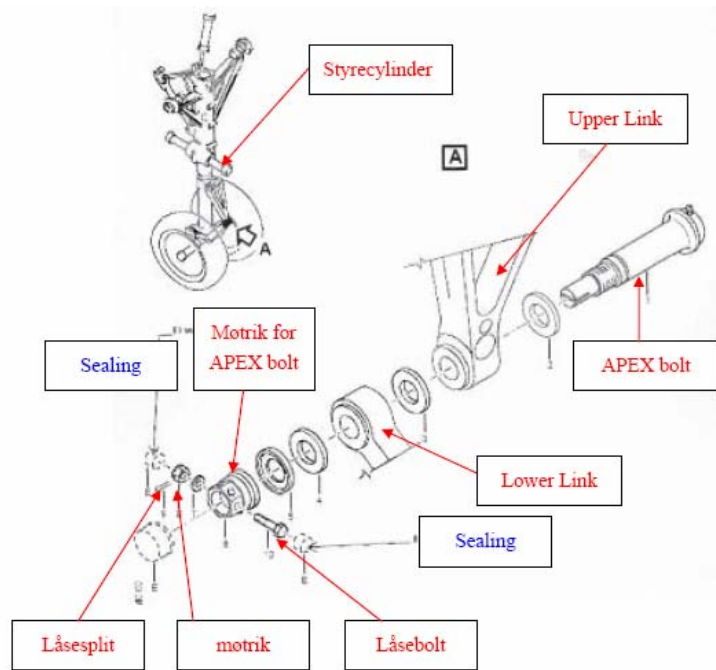


图 2：结构图

顶端螺栓是用于连接起落架扭力臂上下两部分的销子，从而使前起落架和转向柱相连。顶端螺栓通过一个螺母固定，该螺母被插入其中的横向螺栓固定，横向螺栓又通过螺母固定，另外还有一锁销用来固定该螺母。顶销螺栓的螺母、横向螺栓以及其螺母还有顶销，均没有找到。

当考虑可能导致螺栓松动的四种情形后，HCL 认为在最后一年的维护工作中，顶端螺栓的安装可能不正确。这四种情形如下：

- 1) 固定横向螺栓的螺栓/螺母可能发生断裂，结果导致顶端螺栓不安全；
- 2) 横向螺栓的安装不当；
- 3) 顶端螺栓的螺母可能没有拧到位，导致只有螺栓外部的螺纹与螺母连接；
- 4) 横向螺栓或者其锁销根本未安装。

HCL 决定不再对此事进行进一步调查。

事件调查报告下载地址：

[http://www.hcl.dk/graphics/Synkron-Library/hcl/dokumenter/Redegorelse r/2010/510-000761%20redeg%F8relse.pdf](http://www.hcl.dk/graphics/Synkron-Library/hcl/dokumenter/Redegorelse%20r/2010/510-000761%20redeg%F8relse.pdf)

翻译：袁丁； 校对：徐蕾

事件调查报告：法国航空公司 B773 飞机拉各斯中断起飞

2010 年 1 月 11 日，一架法国航空公司的注册号为 F-GSQI 的波音 777-300 型客机，执行从尼日利亚拉各斯飞往法国巴黎戴高乐机场的 AF-855 航班，机上搭载 200 名乘客。飞机原定于在 10 日 23 点 55 分离场，但在拉各斯机场起飞时（大约在午夜过后的几分钟），飞机加速至高速后中断起飞，在中断起飞直至飞机停止的过程中，若干轮胎发生爆胎。事件没有造成人员伤亡。

2010 年 11 月，法国航空事故调查局（BEA）发布了最终调查报告，总结这次严重事件的可能原因是：

- **驾驶舱准备时忘记打开自动油门；**
- **在飞行关键阶段，机长对于模式控制面板（MCP）上的自动油门开关的选择；**
- **在模式控制面板上操作时，自动驾驶仪不小心接通；**
- **机组对飞机系统的状态缺少足够的监控。**

机长可能为了得到一些休息时间而决定加快驾驶舱准备过程，这有可能导致了自动油门未被接通这一疏漏的发生。

BEA 报告称，这架飞机在一架由尼日利亚哈科特港飞来的飞机之后到达拉各斯，预计在拉各斯停留 90 分钟。为了留出 40 分钟的休息时间，机长希望加快飞往巴黎的下一航段的准备工作。

在飞往巴黎的航段上，由机长驾驶飞机。为了节省飞行时间，机组请求在 36L 跑道上起飞，同时另外两架飞机请求在 18R 跑道起飞，跑道的两个方向的气象条件都符合起飞要求。机组计算出决断速度 V_1 为 138 节，抬前轮速度 V_r 为 151 节，安全起飞速度 V_2 为 157 节。当飞机向 36L 跑道的等待点滑行的过程中，英国航空公司的 BA-74 航班报告已经在 18R 跑道的等待点做好起飞准备，并被告知第二个起飞。

在距 36L 跑道的等待点不足 1300 米的地方，法航机组人员报告说准备好起飞，并且被准许起飞。机长把飞机滑向跑道，两分钟后开始滚动起飞。当飞机加

速到 30 节时，机长按下了起飞复飞（TOGA）按钮，但是油门杆并没有动，并且发动机 N1 指示保持不变。3 秒钟后机长说：“我们有麻烦了。”飞行参数记录器显示起飞复飞按钮被按了第二下，但油门杆和发动机还是没有反应。

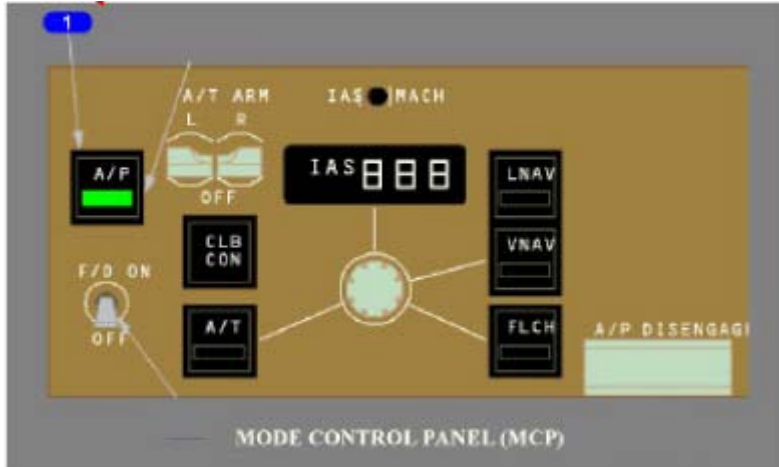


图 1：模式控制面板

飞行参数记录器显示，2 秒钟后 MCP 上的自动油门被接通。同时，飞行参数记录器记录在机长侧的 MCP 上的自动飞行驾驶仪开关被按了两次。一秒钟后自动驾驶仪开始工作。

副驾驶建议手动操作向前推油门杆后，油门杆被向前推进到了和发动机 92.5%N1 转速相匹配的位置。在速度即将达到 80 节之前，副驾驶建议再一次按下按钮，8 秒钟后他喊话起飞推力已设置，速度达到 100 节。机长评论说，飞机已经达到这个速度，但不能使用自动油门，飞行参数记录器证实了自动油门已接通，但没有工作。

飞机速度达到 100 节后 13 秒钟，副驾驶喊话抬前轮，此时飞机已沿着跑道滑行了 1500 米。2 秒钟后机长宣布：“中断起飞，中断起飞”，飞行参数记录器显示此时飞机达到 155 节指示空速。油门杆被拉到慢车位，发动机减速。在决定中断起飞后的 3 秒钟，飞机速度达到最大的 164 节，自动刹车启动，飞机在距离跑道末端 900 米的地方停了下来。

后来机长解释说，在操纵飞机抬头的时候，他感觉升降舵被卡住了，所以决定中断起飞。

因为 36L 跑道头的出口被英国航空公司的飞机堵住了，法国航空公司的机组

人员开始在跑道上掉头，24 秒后电子指示及机组警告系统（EICAS）警告：3 号机轮的刹车温度指数上升超过了 5（最高 9.9）。又过了 15 秒，驾驶舱语音记录器记录到了自动驾驶仪断开的声音，飞行参数记录器显示是机组人员手动的断开了自动驾驶仪。2 分钟后，因刹车过热，机长请求了应急服务。大约飞机停在跑道上 6 分钟后，3 号轮胎因为刹车温度指数达 8.7 而漏气。在随后的 5 分钟，1、2、4 和 6 号轮胎开始漏气。在飞机中断起飞停在跑道上 9 分钟后，应急服务到达飞机停止的位置，并对刹车系统进行喷水。

机长（54 岁）有 18385 小时的飞行经验，其中 1067 小时在该机型做机长的经历。副驾驶（39 岁）有 8222 小时的飞行经验，其中 6104 小时驾驶此类机型。

拉各斯机场的跑道长 3900 米。波音公司计算的起飞滑跑距离为 2555 米，起飞并从 164 节停止的距离为 3188 米。

机组操作手册规定，起飞过程中离地 200 英尺以下时，不应打开自动驾驶仪。

波音公司共收到运营人报告的 9 次类似事件，其中 8 次导致了中断起飞，中断起飞过程中记录的最高速度为指示空速 170 节。2009 年 2 月 24 日，波音公司告知了运营人关于手动但非故意的打开自动飞行仪的可能性，这种情况大大增加了飞机起飞抬头时所需的控制压力。2010 年 1 月 22 日发布了一项服务通告建议使用新版本的自动驾驶仪软件，这种软件能防止起飞滑跑时自动驾驶仪的开启，法国航空公司对他们所有的波音 777 客机贯彻了这项服务通告。随后，美国联邦航空局发布了一项适航指令，要求从 2010 年 4 月 1 日起的 90 天内，所有飞机都要安装这个软件（中国对应适航指令 CAD2010-B777-01）。

事故调查报告英文版下载地址：

<http://www.bea.aero/docspa/2010/f-qi100111.en/pdf/f-qi100111.en.pdf>

事故调查报告法文版下载地址：

<http://www.bea.aero/docspa/2010/f-qi100111/pdf/f-qi100111.pdf>

翻译：李新宇； 校对：徐蕾

事件调查：达美航空 B752 发生发动机非包容性失效

2008 年 8 月 6 日，一架达美航空公司的波音 757-200 客机（注册号 N666DN）执行从拉斯维加斯飞往纽约肯尼迪国际机场的 DL624 航班，机上共有 166 名乘客和 6 名机组人员，当飞机进入离场跑道时，机组人员通过无线电报告说右侧发动机起火。

2008 年 10 月 17 日，美国国家运输安全委员会（NTSB）发布报道称，这架 B752 的右侧发动机发生了非包容性发动机失效。

对 PW2037 发动机的检查表明后整流罩底部有一个洞，沿着这个洞一直到发动机的高压涡轮机。该检查结果还表明凸耳盘丢失，而且涡轮轮毂上有裂纹存在。

NTSB 还发现，至少其它四个 PW2037 发动机的 2 级轮毂叶片固定凸耳上有裂纹。此外，美国航空公司的一台 PW2037 发动机在例行大修中，发现第 2 级涡轮轮毂的两个相邻的叶片固定凸耳上有裂纹。

“这些发现引起 FAA 的高度重视，FAA 将立即采取行动，”NTSB 代理主席 Mark V. Rosenker 说，“一连串连续的叶片固定凸耳断裂，可以导致多片叶片同时脱落，这将超过发动机舱的设计能力，导致非包容性。必须采取预防性安全措施。”

NTSB 于 2008 年 10 月 17 日公布第二个建议，要求对涡轮轮毂进行持续的例行检查，一直到查明前述（凸耳）破裂案例的原因，并且确定纠正措施为止。

2009 年 6 月 18 日，FAA 和 EASA 发布了特殊适航信息公报，提出高压涡轮机失效的原因是发动机在维修期间遭受了腐蚀性喷砂清理。

FAA 和 EASA 建议：

- 对旋转部件进行喷砂清理程序的涡轮发动机修理站应该检查其程序是否与制造商一致，应该遵守所有的警告信息和注意事项。
- 涡轮发动机修理站应该安排对进行喷砂清理程序的人员进行定期复训。
- 涡轮发动机修理站应该对检查员和其相关人员进行培训，使他们能够检查出旋转式发动机上可能遭受过度喷砂处理损害的关键部件。目视检查能够检查出这些靠近标识区域存在“阶梯式”的过度喷砂（见图 1）。
- 那些被检查出有“阶梯式”的零件不应该返回使用，直到完成彻底检查为止。

- 任何发现关键涡轮发动机旋转构件上有疑似腐蚀性喷砂处理的人都应该把信息传送给发动机制造商和 FAA 或 EASA 发动机审定办公室。

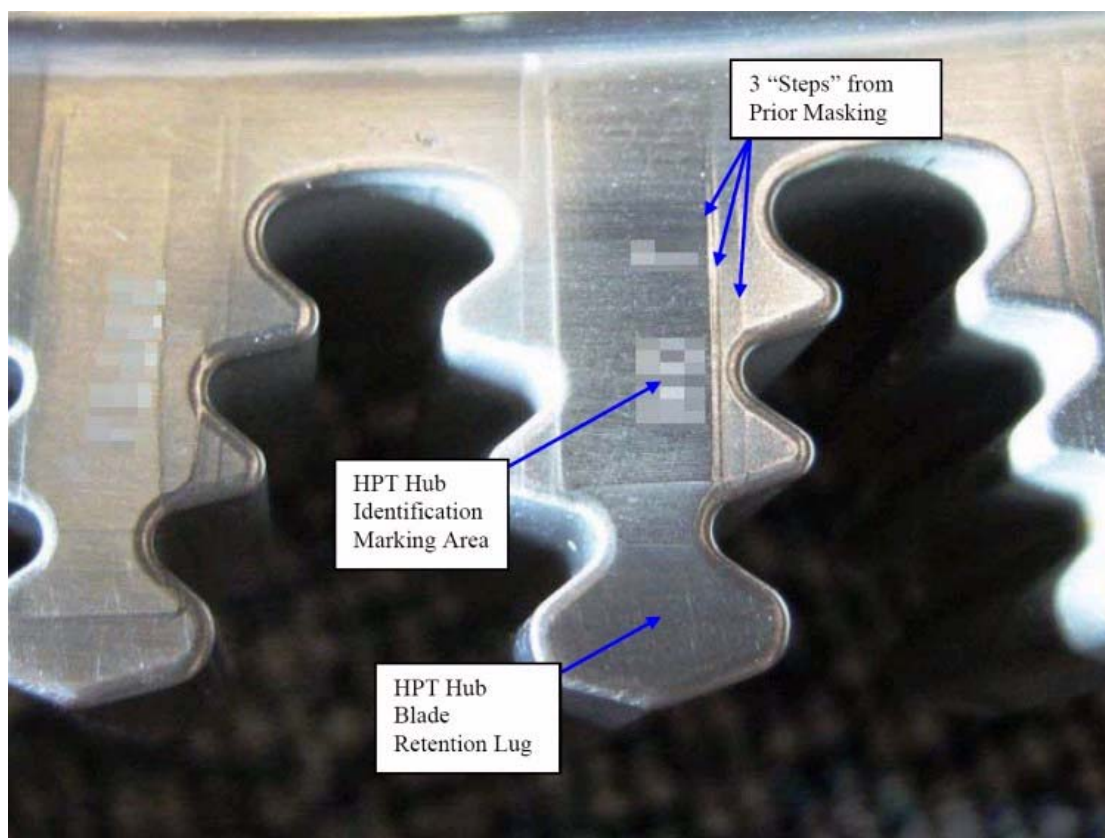


图 1：“阶梯式”区域

2010 年 12 月，NTSB 发布了最终事故调查报告，总结事故的可能原因为：

由于在 2 级涡轮轮毂四个连续的叶片固定凸耳上发生疲劳裂纹，导致该发动机遭受高压涡轮机材料的非包容性脱落。凸耳的破裂导致了四个 2 级涡轮叶片脱落，贯穿了发动机机箱和短舱。材料损耗以及达美航空公司在对涡轮轮毂进行大修时，过度的喷砂处理造成作用在叶片齿槽上的压力增加，共同导致了凸耳的破裂。

机长在航后访谈中说到，当他们正准备加推力起飞时，他们听到一声巨响，2 号发动机（PW2037）的起火指示灯亮。机组中止起飞，把飞机在跑道上停了下来，关闭了右侧发动机，宣布进入紧急状态。当发动机被关闭后，发动机起火指示随之熄灭，因此他们没有释放灭火瓶。消防人员之后报告说，通过发动机引擎机舱底部的空洞看到发动机内部发光，通过打开减压口盖释放了一个灭火瓶。在消防人员确认无火之后，飞机被允许滑回到停机位。

随后的检查表明四个相邻的 2 级涡轮叶片从 2 级涡轮轮毂上丢失，紧挨着丢

失叶片的那两个叶片断裂，只剩下各自长度的 1/4 和 1/2，虽然在其它叶片上有擦痕、凹痕和变色，但它们几乎没有断裂。进一步的检查表明 2 级涡轮轮毂内的四个固定凸耳内部和中间锯齿之间发生断裂。

根据维修文件资料，涡轮轮毂累计飞行小时数 29097 小时，12549 次飞行循环，在预期使用寿命（15000 飞行循环）之内。自从 2004 年大修以后，涡轮轮毂已使用 4932 小时。在大修期间，涡轮轮毂经历了四步化学除锈过程、500 号氧化铝砂的喷砂处理、蒸汽清洁、烘干、荧光渗透检验 (FPI)、蒸汽再清洁、然后是尺寸检查。

2 级涡轮轮毂的尺寸检查表明，涡轮轮毂的所有直径特征都符合要求。但检查也表明叶片固定凸耳的锯齿是 0.0092 英寸（0.2 毫米）低于最小公差。

PW2000 发动机手册中有一个指定的清洗步骤，名为 SPOP19。达美航空维修人员发现使用 SPOP19 进行发动机清洗变得越来越困难。如果不能通过使用 SPOP19 使涡轮轮毂得到充分净化时，PW2000 手册还指定了使用 500 氧化铝砂干燥喷砂处理的替换程序，名为 SPOP10。达美航空随后采用 SPOP10 作为其标准程序。普惠最后修改了发动机手册，删除了 SPOP19，建议使用 SPOP10。

测试表明在 2 级涡轮轮毂材料上使用 SPOP10，仅有很少的材料从表层脱落。但是，如果喷枪离得太近允许集中在某一点，或倾斜角 45 度，就会有大量的材料脱落。

2007 年 6 月，发现另一个 PW2037 发动机的叶片固定凸耳上有裂纹。FAA 意识到这一事件并报告给普惠。但是，在 2008 年 8 月非包容性发动机失效的时候，普惠还没有确定这些裂纹产生的原因。随后的尺寸检查表明与叶片锯齿槽剖面与 2008 年 8 月（发生非包容性失效）的发动机具有相似的偏差。2007 年 6 月的文件材料表明发动机在检察员接受部件进行检查之前，已经历多重喷砂处理循环。

NTSB 事实调查报告地址：

<http://dms.nts.gov/aviation/GenPDF.aspx?id=ENG08IA038&rpt=fa>

NTSB 最终调查报告地址：

<http://dms.nts.gov/aviation/GenPDF.aspx?id=ENG08IA038&rpt=fi>

翻译：赵青； 校对：徐蕾

事件调查报告：Ayk Avia 航空 IL76 沙迦起飞时机轮断裂

2009 年 10 月 19 日，一架亚美尼亚 Ayk Avia 航空公司伊尔-76TD 飞机(注册号 EK-76754)，执行从阿拉伯联合酋长国沙迦到某地的货运航班任务，在沙迦机场 12 号跑道起飞时因感到剧烈震动而中断起飞。飞机安全减速停在跑道上，随后返回停机坪。

2011 年 2 月 10 日，阿拉伯联合酋长国民航总局（GCAA）发布了这一事故的最终报告，认定事故的主要原因如下：

调查部门认为 Ayk Avia 航空公司这起“中断起飞事件”的主要原因是位于飞机左起落架内侧的后轮在不断的压力作用下产生的累积疲劳未被检测出来。而机轮出现疲劳却没有被检测出来的原因没能确定。



图 1：断裂的机轮

根据阿拉伯联合酋长国民航总局（GCAA）的报告，当飞机加速到 65 节时，飞机产生了震动，发现问题准备减速时，飞机速度已经达到最高 84 节。

目视检查发现，左侧主起落架内侧后轮的轮毂已经分裂，外面的轮胎脱落，甩到了飞机在跑道停驻点外大约一百米处。破裂轮毂的表面显示出两种不同的状态，一种能看得出疲劳迹象，另一种显示出过应力状态。

阿拉伯联合酋长国民航总局（GCAA）说驾驶舱话音记录器没有这一事件航班的记录，飞行数据记录器也没有存储飞机垂直加速度、震动水平、空速以及 3 号发动机的 N1 转速等数据。

从左侧主起落架内侧后轮脱落出来的轮胎在飞机停驻点前 100 米处被找到，当机轮高速转动时，轮胎分离开来。

经过对轮毂的检查发现，轮毂外侧圆周大约 85% 的区域都有裂痕。轮毂外缘分裂成 5 块。断裂截面显示出疲劳裂纹的迹象，疲劳裂纹的长度说明裂纹已经存在了很长时间，而常规的无损检测应该能在断裂发生很久以前就发现裂纹的存在。

事故报告中给出了 6 项安全建议措施，其中 2 项面对运营商要求他们确保飞机上黑匣子的正常使用，并且要求他们继续完善机轮轮毂检查项目。

事故调查报告下载地址：

<http://www.gcaa.gov.ae/en/ePublication/admin/iradmin/Lists/Incidents%20Investigation%20Reports/Attachments/13/2009-Final%20Report%20IL-76TD%20-%20EK76754%20-%20Report%2009%202009.pdf>

翻译：姚慧敏； 校对：崔振新

调查报告：加拿大航空 A333 飞机飞行中发动机燃油不足

2008 年 4 月 30 日，一架加拿大航空公司 A330-300 飞机（注册号 C-GFAH），执行 AC-418 航班从加拿大多伦多飞往蒙特利尔，机上载有 228 位乘客和 10 位机组人员，飞机在巡航过程中，数个燃油泵低压警告响起。机组人员按照检查单关闭了发出警告的燃油泵。飞机在向蒙特利尔机场下降的过程中，剩下的燃油泵也发出了低压警告，因此也被关掉，由于重力作用燃油继续供向发动机(Trent 772 型)，发动机继续转动。当飞机在 11000 英尺改平时，左侧发动机退回到慢车位，导致发动机失速并且 ECAM（中央电子监控系统）发出发动机失效信息。机组人员宣告紧急状态并打开所有的燃油泵，很快，左发动机恢复正常。飞机继续飞行并安全着陆，着陆后剩余 4500 千克燃油。

2010 年 8 月，加拿大运输安全委员会发布了最终调查报告，公布了以下调查结果：

事故原因和影响因素为：

1. 主燃油泵低压警告可能是由燃油压力开关冻结引起的错误告警。机组根据电子中央飞机监控（ECAM）显示信息对应的程序将正常运行的燃油泵关闭。
2. 在燃油量略大于 2500 千克时，燃油泵入口的空气摄入导致备用燃油泵出现低压告警。当主燃油泵失效时，备用燃油泵可能在内侧燃油箱里的燃油量最高在 2750 千克时，就出现了这种情况。
3. A330 燃油系统的设计，导致了在内侧燃油箱燃油量低于 2500 千克进行重力供油时，空气进入备用燃油泵入口。结果，左发动机失去动力。

作为风险的发现：

1. 当主燃油泵不工作时，燃油低液位传感器的位置位于备用燃油泵入口下方，会导致在 ECAM 发出燃油低压警告前，备用燃油泵抽取燃油量不足。因此，机组人员可能无法意识到由于在燃油量低于 2750 千克时空气会进入燃油管，即将发生发动机失效。
2. 现有的 A330 文件未提醒机组人员在燃油量低时燃油系统可能会存在弱点。

因此，在某些故障条件下，机组人员开始用重力供油的行为可能会导致发动机失效。

3. 加拿大航空公司规定的低燃油 ECAM (ALFE) 程序包含的条目可能和空客公司建议的程序相冲突。因此，机组人员可能混淆或忽略空客公司建议的程序中的关键条目，由此增加了燃油不足的风险。
4. 当一个主燃油泵失效时依照最低设备清单放行，将把飞机置于剩下的主燃油泵一旦也失效且内侧燃油箱燃油量低于 2500 千克时引发燃油供应不足的风险中。
5. 没有按照公司的程序对油箱进行排水。飞机在没有对油箱进行排水的情况下运行了较长时间，这也增加了水污染的风险。
6. 驾驶舱语音记录器 (CVR) 在事件发生后没有被停止运行并封存，这导致了驾驶舱里的谈话被覆盖。因此，TSB 调查人员未得到和事件有关的 CVR 信息。

其他发现：

1. 在此次事件之后，对飞机进行了检查、维修和加油，并在未和 TSB 协商的情况下，飞机就恢复了使用。因此，在 TSB 调查开始之前，和此次事件有关的证据已被几方处理。

按照最低设备清单的要求，该机在右侧综合驱动发电机失效的情况下被放行，要求在整个飞行阶段飞机的 APU 都要运行。

因此加拿大航空公司飞行计划系统计算飞机在 51 分钟的航程中应携带 9800 千克 (21600 英镑) 的燃油。在多伦多加了 3854 千克的燃油，因此飞机的燃油量达到 9900 千克，其中外侧左右燃油箱各 450 千克燃油，内侧左右燃油箱各 4500 千克燃油，平衡油箱中无燃油。

机长 (有航线运输驾驶员执照，共 15882 个飞行小时，其中作为机长在 A330 飞机上有 660 个飞行小时，A340 上有 350 个飞行小时) 作为监控驾驶员。副驾驶 (有航线运输驾驶员执照，共 14370 个飞行小时，在 A330 和 A340 飞机上有 807 个飞行小时) 把杆飞行。

在初始爬升阶段没有任何意外。大约飞行 7 分钟后，ECAM 发出短暂右侧燃

油备用泵低压警告。当飞机爬升至 FL250 时，右侧 2 号主燃油泵低压警告发出，备用燃油泵自动激活。机组人员按照检查单操作，关闭右侧 2 号燃油泵。一分钟后，右侧 1 号主燃油泵低压警告响起，机组人员按照检查单关闭了这个燃油泵。机组人员进行了燃油泄漏检查，发现燃油泄漏并不是低压警告的原因。与此同时，左侧燃油泵故障灯开始闪烁。

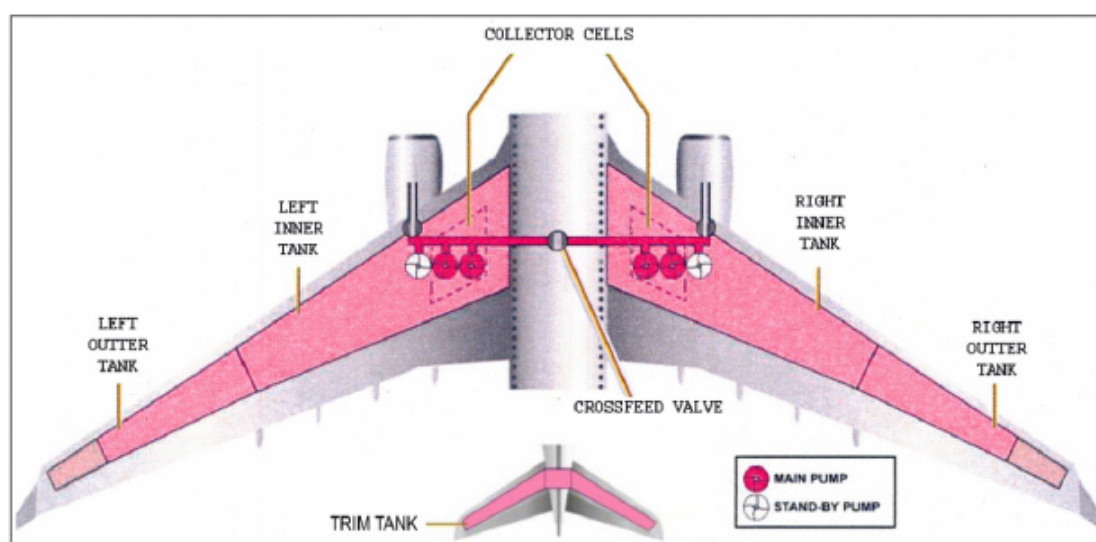


图 1：燃油系统

飞机在 FL350 改平，机组人员打开右燃油泵，以观察当机头稍低时情况会不会变好，但是，低压警告仍旧继续，机组人员将右燃油泵重新关闭。

飞机到达 FL350 两分钟后，平衡油箱燃油泵低压警告响起，这证实平衡油箱空了。一分钟后，左侧两个主燃油泵低压警告都响起。随后左侧两个主燃油泵都被关闭，两个油箱都通过各自剩下的备用燃油泵供油。

机组人员向签派员咨询并考虑改航，但是由于接近目的地机场，所以这个改航请求被拒绝。

在飞机到达下降顶点并开始向蒙特利尔机场下降后，机组人员再次试图打开所有的燃油泵，以便观察机头更低时燃油泵是否能正常运行，然而，低压警告依旧，所有的主燃油泵再次被关闭。

当飞机在大约 8 分钟后下降至 FL200 时，机组人员执行了重力供油程序，以预防一旦某个备用泵出现故障。TSB 无法确定交输活门是否按程序要求关闭。

3 分钟后，飞机下降至 16,000 英尺，两个备用泵低压警告响起。机组人员

执行了相应的检查单，打开交输活门，关闭燃油泵，仅靠重力向发动机供油。

又过了 3 分钟，飞机到达 11,000 英尺改平，启用自动驾驶仪和自动推力，使发动机加速并保持速度。当两台发动机加速至 65%N1 时，左侧发动机的燃油流量突然下降，且 N1 降至空中慢车以下，这导致在一个发动机失速警告不久 ECAM 发出一个发动机失效警告。

机组人员宣布紧急状态，自动驾驶仪断开，两个油门杆推至最大连续推力档位 (MCT)，且将所有的燃油泵打开。左侧发动机保持慢车状态约 30 秒，之后再次加速，达到和右侧发动机一致的转速 85%N1。尽管所有的燃油泵都打开且两个发动机都在运行，但是 ECAM 上的燃油泵显示仍为存在故障的琥珀色。当时，飞机上有 5000 千克的燃油。

在进近过程中，机组人员手动增加推力以确定发动机的响应，机组人员发现两个发动机同时加速。飞机继续进近，最终安全着陆，着陆时机上剩余 4500 千克燃油，这和预先的飞行计划相一致。

驾驶舱语音记录没有被保护好，然而，运营商下载了飞行数据记录器里的数据，TSB 后来从一个可靠的运营商的网站找回了这些数据。对飞机进行了检查、加油、试飞，并在未和 TSB 协商的前提下恢复使用。

TSB 报告说，在事件发生后，运营商执行了必要的排水程序，从每个内侧燃油箱中提取了 4.5 升水。空客公司认为这些数值是正常的。加拿大航空公司的程序要求在每次的日常检查(每七天一次)时进行一次排水程序。然而，最后一次排水程序是在此次事件发生的前 26 天进行的。

燃油样本从所有 6 个燃油压力开关传感线中取得，发现燃油中存在悬浮颗粒。在燃油样本中也发现了自由的小水珠。

所有的燃油泵都运行正常，然而，为了预防事故发生，这些燃油泵都被更换了。在更换了燃油泵之后的拆卸过程中发现在燃油泵中存在气穴痕迹。

并且为了防止发生事故，左右侧燃油计量装置、燃油控制和监控计算机以及发动机电子控制系统也被更换。所有的装置都送到制造商处检查，并未发现任何故障。

燃油压力开关也未发现故障，所以依旧在飞机上使用。

在排除故障之后，5 月 4 日对飞机进行了试飞，并在 5 月 5 日恢复使用。6

月，空客公司建议更换止回阀，止回阀迅速的被更换。在此次事件后，飞机已经飞行 85 次 611 个小时，未发现进一步的燃油异常指示。

TSB 分析说，尽管左右两个备用燃油泵低压警告响起，但是只有左侧发动机失去动力。因此，TSB 确定左侧内侧燃油箱的燃油量小于右侧内侧燃油箱的燃油量，这使得右侧发动机继续运行。

TSB 的进一步分析说，MEL 未考虑在内侧燃油箱的燃油质量小于 2750 千克时可能的空气摄入量，并像其他系统那样（例如一个单个汇流条故障的情况），确定在 MEL 条件下燃油系统运行的弱点所在。文件未能确认任何可能导致发动机故障的弱点。

TSB 的进一步分析说，备用燃油泵的设计不符合先前的预期，因为在内侧油箱还有 2750 千克燃油的情况下备用燃油泵将抽油困难，而主燃油泵却可以继续抽油直至油箱中剩余燃油为 8.3 千克。备用燃油泵的入口将在燃油量小于 2500 千克的情况下吸入空气。

调查最后确定，主燃油泵低压警告很有可能是错误的，但是，备用燃油泵低压警告是正确的。调查也得出结论，即如果机组人员未开启所有燃油泵，右侧发动机也将失去动力。

根据此次调查，空客公司在 2008 年 11 月修改文件建议说，在受影响的油箱中有 2000 千克燃油的情况下不能使用重力供油。空客公司在 2009 年 10 月进一步修改了最低设备清单要求。

事故调查报告下载地址：

<http://www.tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/aviation/2008/a08q0082/a08q0082.pdf>

翻译：唐品； 校对：崔振新

前車之鑒
后事之師
他山之石
可以攻玉

中国民航大学民航安全科学研究所

地 址：天津市津北公路 2898 号

邮 编：300300

电 话：022-24092582

传 真：022-24957940

网 址：www.air-safety.com

电 邮：safety@cauc.edu.cn