

# A320CEO 飞机发动机引气系统原理与常见故障分析

## Principle and Common Fault Analysis of A320CEO Aircraft Engine Bleeding System

戴楚祥

Chuxiang Dai

深圳航空有限责任公司泉州分公司 中国·福建 泉州 362200

Shenzhen Airlines Co., Ltd. Quanzhou Branch, Quanzhou, Fujian, 362200, China

**摘要:** 随着航空器年限增长, 发动机引气系统的故障次数也日益增加, 且呈现多样化的特点, 人们对引气系统的故障维修越来越重视。论文从空客 A320CEO 系列飞机引气系统基本原理出发, 结合航线维护工作中的实际经验, 对常见飞机空调组件故障分析。

**Abstract:** With the increasing age of aircraft, the number of faults in the engine air intake system is also increasing, and it presents diverse characteristics. People are paying more and more attention to the fault maintenance of the air intake system. This paper starts from the basic principles of the air conditioning system of Airbus A320CEO series aircraft, and combines practical experience in route maintenance work to analyze common faults of aircraft air conditioning components.

**关键词:** 民用航空器; 引气系统; 故障; 维护

**Keywords:** civil aircraft; air bleed system; fault; maintenance

**DOI:** 10.12346/etr.v5i11.8757

## 1 引言

民用航空器发动机引气系统在飞行安全中的重要性不可忽视, 其组成部件和工作原理对飞机运行至关重要。

## 2 空客 A320CEO 系列飞机发动机引气系统概述

### 2.1 发动机引气系统的作用与重要性

引气系统在飞机运行中, 扮演着至关重要的作用, 其功能能是引用发动机的压气机引气, 并将其调整为满足飞机各用户所需的温度与压力, 提供给飞机各系统, 使用发动机引气的用户有: ①启动对侧发动机(作为备用方式, 地面启动发动机主要使用 APU 引气); ②给空调系统提供气源; ③大翼防冰(防止大翼前缘结冰, 破坏气动外形, 影响升力); ④增压水系统; ⑤增压液压油箱; ⑥增压燃油箱。飞机运行过程中离不开上述系统, 若没有发动机引起系统, 上述系统将无法正常工作。

### 2.2 发动机引气系统的组成部件

发动机引气系统是由多个关键组件组成的复杂系统, 这些组件共同协作以提供高温、高压气体给下游各个用户使用。主要组成部件包括以下几个。

#### 2.2.1 发动机高压活门 (HPV)

发动机高压活门的开关由气动完成。当发动机中间压力级引气压力不足时, 活门打开。发动机高压活门将供气压力控制在 8~36PSI 之间。当压力调节活门 (PRV) 通过压力调节活门/高压活门 (PRV/HPV) 感受管路关闭时, 发动机高压活门被强制关闭。飞行在空中, 满足下面的状态时, ECU 使高压电磁阀感受管路通大气, 保持高压活门 (HPV) 在关闭位 (V2500 和 A319):

- 发动机高于慢车状态 (PS3 > 85PSI);
- 翼面防冰关断;
- 飞机高度大于 15000 英尺;
- 空调系统正常 (正常的 PACK 组件状态)。

当其中一个状态不存在时, 由 EEC 控制的电磁阀断电,

【作者简介】戴楚祥 (1990-), 男, 回族, 中国福建厦门人, 本科, 高级工程师, 从事飞机维修研究。

高压活门 (HPV) 打开不再被抑制。

### 2.2.2 中间压力级引气单向活门 (IPC)

单向活门用于防止当发动机压力活门打开后, 气流反流到中间压力级。

### 2.2.3 引气压力调节活门 (PRV)

气动调节引气压力在 44PSI 左右。如果发动机出现火警, 引气温度达到 450°C 时, 过热保护使 PRV 关闭。

### 2.2.4 电磁阀 (CTS) 引气压力调节活门

PRV 由一个位于预冷器下游的外部伺服控制器——引气压力调节活门控制电磁阀 (CTS) 气动控制。引气压力调节活门控制电磁阀 (CTS) 有两种控制模式——气动或电动, 部分或全部关闭引气压力调节活门 (PRV)。

CTS 气动工作模式:

——超温关段: 当预冷器下游温度大于 450°C, 关闭 PRV。

——压力控制: 调节 PRV 压力在 44PSI 左右。

——防反流保护: 当下游压力大于上游压力时, 关闭 PRV 防止反流。

CTS 电动工作模式: 引气压力调节活门控制电磁阀 (CTS) 通电使引气压力调节活门 (PRV) 关闭。

——发动机引气按钮电门在“关断”位。

——发动机火警按钮电门在“预位”位。

CTS 关闭 PRV 逻辑: (或) 电控模式; 自动模式:

- ①使用 APU 引气时;
- ②发动机启动活门未关闭;
- ③超压;
- ④预冷器超温;
- ⑤引气渗漏。

### 2.2.5 引气超压活门 (OPV)

引气超压活门 (OPV) 为常开活门, 气动关闭。引气压力升高到 75PSI 时, 引气超压活门 (OPV) 开始关闭; 引气压力达到 85PSI 时, 引气超压活门 (OPV) 完全关闭; 当引气压力下降到 35PSI 时, 引气超压活门 (OPV) 重新打开。

### 2.2.6 PR (引气系统供气压力) 传感器

感受引气压力调节活门 (PRV) 下游管路内的空气压力, 将信号送到引气管理计算机 (BMC)。这个压力值显示在 ECAM (电子中央飞机监控系统) 上。

### 2.2.7 PT (发动机供气压力) 传感器

感受发动机高压活门 (HPV) 下游管路内的空气压力, 将信号送到引气管理计算机 (BMC)。这个压力用于监控发动机高压活门 (HPV) 和引气压力调节活门 (PRV), 该信号不用于指示。

### 2.2.8 BMC (引气监控计算机)

BMC 在引气系统工作过程中, 控制和监控引气系统参数, 监控活门位置, 同时提供引气渗漏探测, 在极端情况下, 也用于控制相关活门关闭 (上文提到的 CTS 自动关闭 PRV 模式就是通过 BMC 输出信号来控制的)。

### 2.2.9 风扇引气活门 (FAV)

FAV 是个蝶形活门, 用于将发动机风扇引气引入预冷

器中, 与 PRV 下游引气进行热交换, 将引气压力调节在 200°C ± 15°C, 无引气时由弹簧加载在关位, 当上游压力达到 8PSI 时, 活门开始打开。

### 2.2.10 CT (控制恒温器)

恒温器安装在预冷器下游, 用于感受预冷器温度, 当预冷器温度低时, 通过信号管放气, 减小 FAV 开度, 达到调节引气温度的作用。

## 2.3 发动机引气系统指示

发动机引气系统指示主要显示在下 ECAM 的 BLEED 页面, 如图 1 所示, 引气系统参数主要包括: ①高压级活门 (HPV) 位置指示; ②中压级活门位置 (PRV) 指示; ③预冷器出口压力与温度指示; ④交输活门位置指示; ⑤大翼防冰活门状态指示; ⑥ APU 引气活门位置指示; ⑦飞机地面指示 (当飞机在地面时, 该符号出现, 提醒机组地面气源位置位于交输活门的左侧)<sup>[1]</sup>。

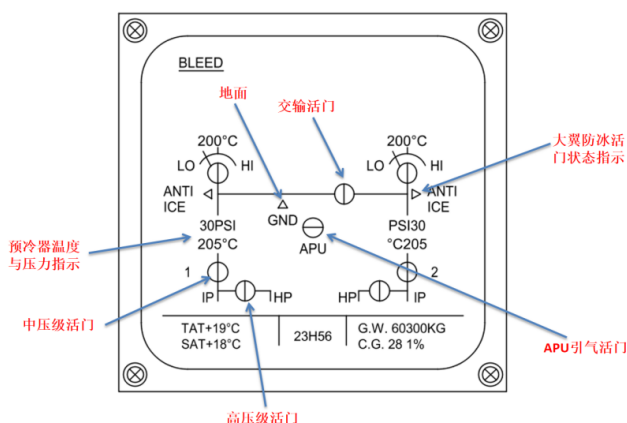


图 1 ECAM 引气部分指示

## 3 空客 A320CEO 系列飞机发动机引气系统常见故障分析

空客 A320CEO 系列飞机发动机引气系统由于设计问题, 大部分活门均使用气控气动 (通过不同信号管控制各个活门打开腔压力, 控制活门打开或者关闭, 上下游压差做动活门开度, 压差增大, 活门开度增大), 该设计控制精度偏低, 故障率偏高, 且呈现多样化 (任何位置漏气都可能造成做动压力不正常, 引起系统性能下降, 甚至故障)。

### 3.1 引气温度高

#### 3.1.1 FAV 及其信号管与 CT 引起的引气温度高

如上文介绍, FAV、CT 及其感应管用于控制发动机引气温度保持在 200 ± 15°C, 当温度过高时, 已造成下游部件温度调节困难或者损坏, 如果出现引气压力过高, 可能原因: ① FAV 信号管或者 CT 漏气, 该位置漏气会引起 FAV 开度达不到所需开度, 造成引气温度高 (可能性较大); ② FAV 活门卡阻, 活门无法达到所需开度, 使冷却空气量减小, 造成引气温度高;

### 3.1.2 HPV 故障在部分开位（该故障多发生于起飞爬升阶段）

由于高压级引气相较于中压级引气温度与压力都偏高，正常情况下，低功率时，中压级压力无法满足下游系统需求，使用 HPV 引气向下游供气，当功率提高后，中压级拥有足够压力满足下游系统需求时，HPV 会自动关闭，并保持在关闭位置。当发动机在起飞或爬升功率时，HPV 正常应处于关闭位置，当 HPV 故障在部分开位，高温气体就会进入下游，造成引气温度高。

### 3.1.3 预冷器破损

预冷器是一个气—气热交换器，当预冷器出现破损，热路空气会渗漏至冷路空气（热路空气压力高），造成冷却效果不好的情况。

## 3.2 引气压力低

### 3.2.1 HPV 及其信号管故障（该故障多发生于发动机低功率阶段）

在发动机低功率状态下，发动机引气系统全部引气来源由 HPV 提供（此时 PRV 只其打开作用，不参与压力调节），慢车情况下，HPV 引气压力约为 18-22PSI，随着发动机功率增加，HPV 引气压力随之增加（在中压级接入之前），最终稳定在 36PSI 左右，若慢车功率引气压力小于 18PSI，油门增加后，引气压力始终无法达到 36PSI，可判断 HPV 存在卡阻情况，活门无法打开到正常位置，造成引气压力低；或者其信号管漏气，造成 HPV 打开腔压力偏低，无法将活门打开到正常位置。

### 3.2.2 PRV 及其信号管、CTS 故障

在发动机高功率情况下，HPV 处于关闭状态，发动机引气系统全部引气来源有 PRV 提供，若引气压力低，则可能的原因：① PRV 存在卡阻情况，活门无法打开到正常位置；② CTS 故障，CTS 通过信号管做动 PRV 以实现控制引气压力作用，当 CTS 故障时，控制作用丧失，PRV 作动异常，造成引气压力低；③ 信号管轻微漏气，造成 PRV 打开腔压力偏小，PRV 开度不足，造成引气压力低。

## 3.3 其他故障

### 3.3.1 引气压力波动

PRV 上游与 CTS 之间的信号管渗漏（与 2.2.2 中的信号管不同），防反流是 CTS 重要功能之一，当 PRV 下游压力大于上游压力时，CTS 将通过释放与 PRV 作动腔相连的信号管压力，达到关闭 PRV 的效果，防止反流。当 PRV 上游与 CTS 之间信号管存在渗漏的情况，CTS 会错误认为 PRV 上游压力较小，在这个错误信号小于下游压力信号时，CTS 防反流功能被触发，PRV 往关闭方向作动，下游压力随之减小，当信号管中偏小的上游压力重新大于下游压力后，CTS 防反流条件不在成立，PRV 被重新打开，上述过程会在渗漏条件存在的情况下反复出现，引气系统表现为引气压力波动，当渗漏加剧，将表现为 PRV 的反复开关。

### 3.3.2 引气温度低

在不考虑 FAV 失效在开位的情况下，该故障多发生于更换 CT 气滤后第二天的航班，当维修经验不足的人员在安装 CT 气滤时，涂抹过多的黑油膏，导致多余黑油膏掉入 CT 中，堵塞相关气孔，造成 CT 控制 FAV 信号异常，引发引气温度低的情况。

### 3.3.3 下降阶段出现高压活门故障

V2500 发动机下降阶段，可能出现 AIR ENG HP VALVE FAULT 警告，并伴随 HP BLEED-V4000HA OR SENSE LINE 故障信息，在地面恢复正常。根据空客发布 TFU，可能是由于 P3 伺服管路进了水汽，在高空结冰，在下降减小功率时，HPV 无法正常打开，在地面，结冰消失，HPV 可正常使用。

### 3.3.4 引气压力高

说到引气压力高，容易想到 HPV 故障，导致高压气体进入下游，但当 PRV 工作正常的情况下，是不应该出现引气压力高的情况（PRV 将压力控制在 44PSI 左右），因此引气压力高通常不先判断 HPV 故障（除非 PRV 也同时故障在开位），造成引气压力高可能性较大的原因：① PRV 失效在开位，造成引气压力不受控制，引发引气压力高；② PRV 至万向节的信号管（通常我们称为 6 号管）漏气引起（该管不是所有飞机都有），该信号管连同 PRV 本身自带的下游压力感应口一同感受 PRV 出口压力，当信号管漏气，将传递下游压力偏小的信号给 PRV，从而增大 PRV 开度，造成引起压力过高<sup>[2]</sup>。

### 3.3.5 AIR BLEED 维护信息

① BMC 故障引起。当 BMC 部分功能出现故障会引起 AIR BLEED 维护信息，提醒维修人员及时检查和更换相应部件。② 环路过热探测元件性能衰退引起。飞机翼身环路过热探测为双环路组成，APU 舱及发动机吊架则为单环路，每个环路又由数段分布在各个位置（主要沿引气管路安装）的探测元件组成，当环路中的探测元件性能衰退（包括短路和断路），会出现 AIR BLEED 维护信息<sup>[3]</sup>。

## 4 结语

由于空客 A320CEO 系列飞机发动机引气系统故障呈现多元化，我们在日常维护中，需要结合系统原理、故障代码及日常维护经验进行综合判断，分析各种故障情况及可能产生的原因，提高排故效率。总之，引气系统的安全性和可靠性对飞行安全至关重要，通过对系统的深入研究，严格按手册、流程实施维修工作，并结合后台监控系统，可以有效减少引气系统故障的风险，确保飞机能安全、正常地运行。

## 参考文献

- [1] AIRBUS. A320 Aircraft Maintenance Manual[N].
- [2] AIRBUS. A320 Trouble Shooting Manual[N].
- [3] AIRBUS. A320 Aircraft Schematic Manual[N].