

GP7200发动机的风扇部件甩离事故调查

Fault Investigation of Fan Components Separating from GP7200

■ 陈光/北京航空航天大学

对于航空事故的调查往往耗时耗力，尤其是对于关键的故障残骸的寻找，更需要调查人员具有足够的耐心、毅力和责任感。

法国航空公司的一架装有4台GP7200发动机的空客A380大型客机，于2017年9月30日执飞巴黎至洛杉矶的AF66航班，机上载有乘客497人，机组人员24人。当飞机飞至格陵兰岛上空在帕缪特东南方向150km处，4号（右外侧）发动机的风扇部件（包括发动机进气道）甩离发动机（如图1所示）。风扇等部件甩离发动机时，未对飞机结构造成损伤，飞机依靠其他3台发动机，平安降落在加拿大的鹅湾空军基地机场，机上521人无一人受伤。此次事故被称为AF66事件。



图1 空客A380右外侧发动机损坏情况

GP7200发动机及故障分析

GP7200发动机（如图2所示）由普惠公司与GE航空集团平股合资的发动机联盟公司研制，是在PW4084发动机和GE90发动机基础上发展而成的，其额定推力为320kN。普惠公司负责风扇、5级增压级、6级低压涡轮及附件传动装置的研制；GE航空集团负责9级高压压气机、2级高压涡轮、低污染单环腔燃烧室与全权限数字式电子控制（FADEC）系统的研制。GP7200发动机于2006年年初取得美国联邦航空局（FAA）的

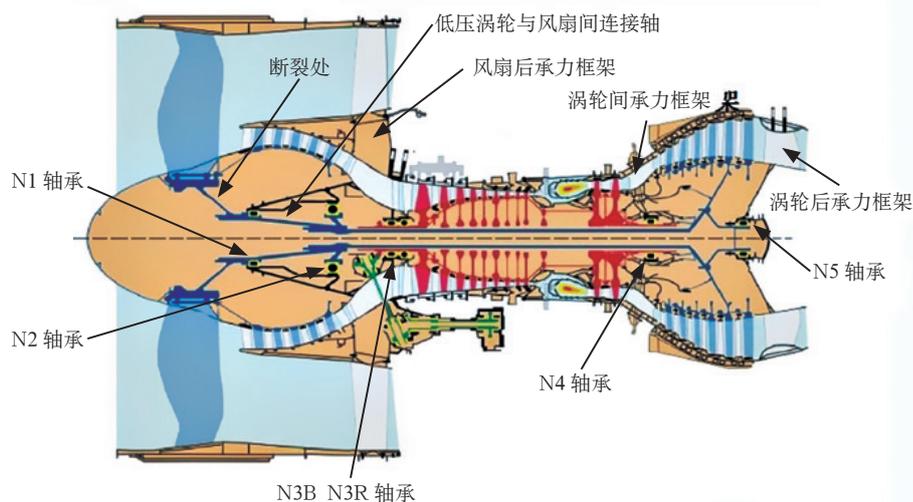


图2 GP7200发动机

适航证，以其为动力的空客A380于2008年投入商业运营，选用GP7200发动机的空客A380飞机占60%，其

余的40%则选用罗罗公司的遛达900发动机。AF66事件中发生故障的GP7200



图3 风扇及进气道甩离后的发动机外

发动机已工作了3527循环。该故障发动机残留的部分如图3所示，由图可看出，飞机的进气道、发动机的进气机匣、包容环和带叶片的风扇轮盘全部丢失，而风扇出口导叶、分流环、增压级等部件仍保留在发动机中。由于风扇后锥轴出现环形裂纹而导致后锥轴断裂，造成带风扇叶片的风扇转子前移坠离发动机。风扇转子在前移与坠落过程中，将包容环、进气道等从发动机上撕扯出去并坠离飞机。整个风扇部件甩出发动机后，由于低压涡轮设有防止风扇传动轴断裂时低压涡轮转子超转的安全设计，因此没有造成低压涡轮转子破裂的故障，对飞机结构也未造成二次损伤。

旷日持久的残骸寻找过程

在一般故障分析工作中，找到关键的残骸是首要条件。AF66事件发生后，找到风扇转子残骸就成为一项至关重要的工作。按照国际惯例，

飞机出现重大故障时，故障的调查分析工作由事件发生地所在国家、航空公司所在国家和飞机及发动机生产国家的适航部门，以及飞机与发动机生产厂家等共同参与调查分析工作。参与AF66事件的残骸寻找工作的部门有丹麦与格陵兰岛地质勘探局（GEUS，格陵兰岛是丹麦王国的属地）、丹麦事故调查局（AIB DK）、法国航空事故调查局（BEA）、荷兰奥尔胡斯大学与冰岛搜索与救援团队等，由BEA统筹领导残骸的搜寻与分析工作。

BEA根据飞机黑匣子的数据确定了飞机飞越格陵兰岛上空的飞行轨迹，并划定了残骸可能坠落的地区，面积约为120km²。这是一个荒无人烟、冰雪覆盖且气温极低的地带，坠落的残骸难以用目视探测到。GEUS只能利用先进的设备寻找风扇转子残骸。

首先，由一架私人公司的达索“猎鹰”20飞机，装上由法国研发的一套合成孔径雷达（SAR）系统，在2018年4月飞行搜索3次后，确定

了残骸可能隐藏的区域，面积大约为3km × 5km。

随后，GEUS于2019年3月下旬开始了在冰面上的探测与寻找工作，他们携带了两种在冰面上探测深埋在冰层下飞机残骸的设备。一种是将测定地下水流动情况的瞬态电磁仪（TEM，由荷兰奥尔胡斯大学水文地球物理研究所研制）安装在雪橇上（如图4所示），在冰面上移动，探测冰面以下的情况，这个装置被称为SnowTEM；另一种是装有探地雷达的机器人平台（FrostyBoy，如图5所示），这套设备虽重达200kg，但在行走时给冰面的压力却很小。

利用这两套能在冰面上移动的探测设备，调查人员在已划定的15km²范围内来回探测。探测共历时13周。其中的7周，工作组居住在冰盖上搭建的露营帐篷中（如图5所示），环境温度为-35℃，时常伴有25 ~ 32 m/s的大风，而且冰盖上有大小不同的裂隙，也会有北极熊出没，探测工作条件十分恶劣。



图4 SnowTEM



图5 FrostyBoy



图6 风扇转子残骸

工作组于2019年6月29日探测到残骸的位置，并用了两天时间将风扇转子残骸挖掘出来（如图6所示）。7月1日，BEA宣布，在AF66事件发生近20个月后，在格陵兰岛冰盖下4m深处，终于挖出了这个重约150kg、体积为1m³大小的风扇转子残骸。

事故调查结果

随后，这件残骸被送往发动机联盟公司。在BEA的监督下，发动机联盟公司对钛合金的风扇轮盘进行了全面检查。2019年8月初，BEA公布了检查结果。经检查发现，在安装叶片的轮盘榫槽槽底的中间位置，有一个表面下的疲劳裂纹起始点，

轮盘在此处出现开裂，且断裂仍在继续发展。与此同时，发动机联盟公司宣布，所有采用GP7200发动机的空客A380的用户，要立即开展对发动机风扇部件的检查。

8月17日，FAA发布了适航指令，要求对用于空客A380的GP7200发动机的风扇轮盘榫槽槽底及榫槽前缘采用涡流检查仪，检查是否存在裂纹，同时目测整个风扇转子是否有损伤。这个适航指令从2019年8月30日生效，要求在2020年9月1日全部完成。8月23日，欧洲航空安全局（EASA）也发出了类似的适航指令。为了对风扇转子进行检查，需要将整个风扇部件从发动机上拆下，甚至需要更换风扇转子部件，其费用约为79万美元，一架空客A380有4台发动机，为完成适航指令的要求，每架飞机将耗资300多万美元。

目前，发动机联盟公司尚未公布详细的故障分析报告，有关故障的根源尚不清楚，完整的故障分析报告一般需一两年后才能发布，但是从发动机联盟公司对用户的要求，以及FAA的适航指令的要求来看，GP7200发动机的风扇轮盘的确存在严重影响飞机飞行安全的重大故障隐患。

结束语

为找到揭示GP7200发动机故障原因的重要残骸，调查人员历经近两年的时间，采用了多种搜寻装置和手段，克服种种困难，这在众多的航空发动机故障分析工作中较为罕见，这种认真细致的工作态度和锲而不舍的精神值得学习和借鉴。 **航空动力**

（陈光，北京航空航天大学退休教授，著名航空发动机专家）