

民用飞机电弧故障分析与研究

侯福生*, 原野

上海飞机设计研究院, 上海 201210

摘要: 在分析电弧发生机理的基础上, 将民用飞机电弧故障分为A类和B类, 两类电弧故障的产生和结束均有三个阶段, 分别对这三个阶段电弧产生的末端因素进行了分析。指出民用飞机电弧故障的危害, 从飞机的设计、制造、安装、运营维修等一系列环节入手, 提出预防措施。根据AC25.1701-1审定要求, 提出民用飞机电弧故障保护措施。这些措施能有效防止电弧故障的发生, 减轻电弧故障产生的危害。

关键词: 民用飞机; 电弧故障; 电弧故障防护; EWIS

中图分类号: V24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2014) 04-0042-04

对于运营时间超过十年的民用飞机, 电线或线束的绝缘老化破损现象非常普遍, 运营时间在十年内的民用飞机上也经常发现电线绝缘受损, 特别是在一些未对电气线路互联系统(EWIS)进行单独取证的民用飞机型号上, 其选用的电线型号较老, 并且未采用抗电弧印记能力的电线, 故而存在更高的电弧故障风险。

2009年12月, 一架Flybe航空公司的DH8D飞机因为电线之间、电线和靠近线束支架的机身结构之间出现电弧, 飞机左右交流总线、左右变整流总线等多处警告灯同时出现。试验分析表明, 线束塑料卡带失效后, 22根导线中有一条与铆钉摩擦受到局部机械损伤, 该绝缘性受损的导线与铆钉之间发生短路并产生电弧, 最终导致局部过热。

电弧故障其瞬间温度可达10000K, 几乎可以融化或汽化绝大多数飞机材料, 进而会对EWIS线束本身、各类管路、结构件造成严重的直接和次生破坏, 极大影响着飞机的安全可靠运行。因此, 需要在民用飞机的设计、制造与运行维护中, 加强对电弧故障的防护意识, 提高飞机的安全性和可靠性。本文在对民用飞机电弧故障末端因素进行分析的基础上, 提出其危害及防护方法, 为民用飞机电路系统设计及维护提供参考。

1 故障机理分析

1.1 电弧发生机理

电弧是气体被击穿后产生的持续等离子放电现象, 其放电电压小于辉光放电电压。电弧的形成机理可分为两类, 其一为放电过程中的辉光放电阶段演化而来, 其二为两个电极接触后分开一段距离后拉出。

对于第一类电弧(A类电弧), 在图1所示的简单直流电路中, 其放电过程的U/I曲线如图2所示, 一开始保持较低电压, 在催离素(如X射线、阴极加热)作用下开始非自持放电(图2中阶段点1~阶段点4), 后续通过调整变阻器, 将电极两端电压逐渐增加, 便不再需要催离素, 形成自持放电(图2中阶段点4~阶段点10及后续阶段)。电弧放电从辉光放电过渡而来, 属于气体/等离子体放电的最终阶段。当电极间距离较大, 高电压但电源功率较小, 在击穿时会发生火花放电, 火花放电往往是断续的, 并出现闪光和爆炸声。火花放电也会产生着极高的温度, 当高温进一步使气体击穿加深, 会将火花放电上升为电弧放电。通常情况下, 火花放电和电弧放电会同时发生, 火花放电往往是电弧放电的前奏。只要这两者中的一种出现, 都归结为电弧故障。

第二类电弧(B类电弧), 由两个电极接触后分开一段距离后拉出等离子电流弧柱, 如图3所示, 这是最早观测到的电弧现象。

1.2 末端因素分析

对于民用飞机电路系统, A类电弧故障的产生和结束,

收稿日期: 2014-01-13 录用日期: 2014-02-21

*通讯作者. Tel.: 15221681725 E-mail: houlafashion@gmail.com

引用格式: HOU Fusheng, YUAN Ye. Civil aircraft arcing fault analysis and research[J]. Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(04): 42-45. 侯福生, 原野. 民用飞机电弧故障分析与研究[J]. 航空科学技术, 2014, 25(04): 42-45.

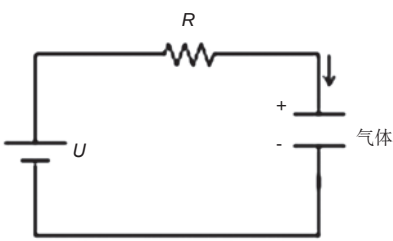


图1 电弧放电直流电路
Fig.1 DC arcing circuit

分为三个阶段：电线/电缆的绝缘和护套破损后导致导体裸露；导体间存在电介质（导电固体、导电气体或导电液体）；开始产生放电现象，直到由于断路器触发或库伦力、振动等因素导致导体分开，放电结束^[1]。

B类电弧故障的产生和结束也分为三个阶段：电线/电缆的绝缘和护套破损后导致导体裸露，或由于电连接松动导致导体裸露；裸露导体与其他导电体的连接处由于自然或人为因素发生振动；拉出电弧，直到由于断路器触发或库伦力、振动等因素导致导体分开，结束电弧放电。需要特别说明的是，对于大多数情况，A类电弧和B类电弧一般同时发生，很少有单独作用的情况。

1.2.1 阶段一末端因素分析

对于A类电弧故障，造成电线/电缆的绝缘和护套破损的因素包括两大类，其一为绝缘及护套在飞机运行环境下老化及失效，产生的原因主要有线束或电线受到特殊状况下机内泄露燃油和液压油，以及厨房或厕所泄露液体的腐蚀；在起落架舱内受到砂石、冰块、泥浆等物体的磨损；移动结构件（如飞控钢索）的移动引起的损坏；极苛刻环境的影响（如SWAMP（Severe Wind and Moisture Place）、高温区、易于液

体及气体聚积的区域）等。其二为由于人为因素导致的绝缘及护套破损，其原因主要包括线束或电线被用作手柄或人员装备的支撑物；受到安装、维修等舱内活动人员的破坏（如安装人员拖动未加保护的线束等）；受到安装、维修等舱内活动遗忘工具的破坏；线束制造过程中的操作失误等造成的线束交付物质量问题等。

在B类电弧触发过程的第一阶段，除了和A类电弧阶段一相同的现象外，还包括电连接松动，产生电连接松动的主要因素包括：安装、维修中的操作失误；非正常情况下机内系统部件对线束造成的沿线束敷设方向的载荷等（造成接线端子松动、连接器弯针或松动等）。

1.2.2 阶段二末端因素分析

对于A类电弧触发过程的第二阶段，造成导体间存在电介质（导电固体、导电气体或导电液体）的末端因素主要包括：各类液体或气体管路的破损或连接处松动引发的液体或气体泄露，如液压油、燃油、厨房废水、卫生间洁厕液或废水等；金属碎屑或粉尘等。

对于B类电弧触发过程的第二阶段，造成裸露导体与其他导电体的连接处发生振动的因素包括自然和人为两方面因素。自然因素包括在飞机高振区域（如机翼部分）发生的正常振动；可伸缩电缆在运动时产生的振动。人为因素包括检查、维修人员操作导致的线束连接处振动等。

1.2.3 阶段三末端因素分析

A类和B类电弧故障在第三阶段的末端因素是相同的。电弧故障不同于短路现象，其持续时间极短，但可以在几毫秒到几十毫秒内释放出大量热量，温度一般在数千到上万摄氏度。在此阶段，决定电弧持续时间的末端因素主要包括：断

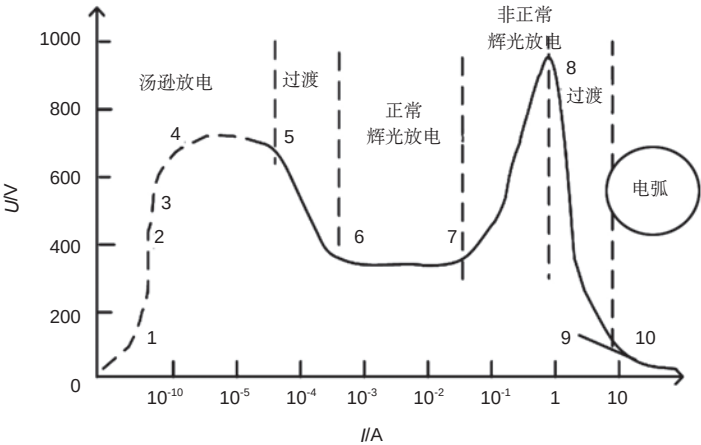


图2 气体放电过程
Fig.2 Gas discharge process



图3 B类电弧
Fig.3 Class B arcing

路器触发(通常由电弧故障伴生的短路现象触发断路器);电线间的库伦力作用下导致电线分断;电弧电路中其他部件(如电线、可导电的移动结构件)的移动或振动造成的分断;强烈的气流将电弧弧柱吹断等。

2 电弧故障危害及防护

2.1 故障危害

影响电弧故障的因素有很多,包括:电路类型(直流/交流)、电压及功率、线规、电线类型、电路和线束保护方案、故障电流、环境温度和气流、受影响对象的几何形状及材料、电弧故障点与受影响对象的间距等。对于民用飞机环境而言,直流电路一般为28V,交流电路为115V/230V,属于低压电路,电线线规从#000到#24号不等,电线一般采用复合材料绕包线或挤出线;受影响对象一般为各类管路或结构金属,如铝合金、不锈钢、钛合金等。从受影响对象的属性来看,民用飞机环境下电弧故障的影响对象分为EWIS部件和非EWIS部件。其中,EWIS部件包括各类电线、电缆、线束、卡箍、支架、绑扎带、卡带、连接器、线束护套等;非EWIS部件包括液压管路、燃油箱、燃油管路、水/废水管路、移动和非移动结构件等。造成严重破坏的电弧故障能将受影响对象管路或外皮



图4 铝合金管路所受电弧故障损伤

Fig.4 Arcing fault damage to aluminum alloy cube

蚀穿,使其材料液化或汽化。图4为受到电弧故障破坏的铝合金管路,其厚度为0.09cm。

2.2 故障预防

为民用电弧故障制定预防措施,需要考虑故障产生的末端因素,从飞机的设计、制造、安装、运营维修等一系列环节入手,可采用如下方法:

(1) 选择绝缘材料具备抗电弧印记特性的电线,以及具

备抗电弧印记能力的线束保护材料;

(2) 避免飞机电气系统运行过程中出现电线过热,例如应按照设计规范严格选择电线线规,并选择合适的断路器类型和参数;

(3) EWIS设计应尽最大可能降低电线电缆线束保护材料同尖锐物发生摩擦的概率,保证在固定点单点失效后电线电缆或线束与尖锐物不会发生摩擦,并且不与导体接触;

(4) 完善线束制造、安装及维修的流程文件,并加强对操作人员的培训,尽力避免在线束制造、安装及维修过程中对电线电缆线束的绝缘或保护层造成损坏;

(5) 对于可能出现液体泄露的系统,应完善其设计、制造、安装规范及流程,将管路和连接等位置出现液体泄露的可能性降到最低;

(6) 在系统布置过程中,应充分考虑一旦发生液体泄露时如何避免液体流经电线、电缆和线束;

(7) 完善连接器等电路连接设备选用规范,选择通过相关标准的合格连接设备,在安装、维修过程中应保证连接器等电路连接设备的可靠连接,避免对插针或其它连接器件造成腐蚀或机械损伤。

2.3 故障保护

(1) 运输类飞机电气布线互联系统合格审定AC25.1701-1^[2]指出,EWIS分离措施的目的在于,通过设置足够的分离距离来减轻电弧故障造成的危害,包括单根线束内各电线之间、两根或多根线束之间、电气线束和非电系统或结构之间发生的电弧,电弧发生瞬间温度极高,但热能的扩散是随着距离增加而飞速衰减的,设置合适的分离距离,是最有效的EWIS保护措施;

(2) 在某些狭小布线空间内,无法满足EWIS分离距离时,应采取等效的隔离措施来达到同样的效果,如利用线束保护护套,如果电弧发生在线束外,那么可以保护线束不受电弧影响;如果电弧发生在线束内,那么可以保证电弧影响不会在短时间内扩散;

(3) 在重点关注区域(高温高湿高振高能区域),应在保证失效安全(FAIL-SAFE)的前提下,使用电弧故障断路器(AFCB)或其他电弧故障防护设备,达到检测并切断故障电弧的功能。

3 结论

本文从民用电弧故障的机理入手,对其产生的危害及相应的防护措施进行了分析说明。提高对电弧故障危害严重性的认识,采取相应的防护措施,有助于提高民用飞机

电气互联系统的安全性和可靠性。

AST

作者简介

侯福生(1987—) 男,硕士,助理工程师,主要研究方向:民用飞机EWIS电弧故障防护及EWIS设计。

Tel:021-20864815

E-mail:houlafashion@gmail.com

原野(1983—) 男,硕士,工程师,主要研究方向:民用飞机EWIS 安全性研究及EWIS设计。

Tel: 021-20864815

E-mail: yuanye1@comac.cc

参考文献

- [1] F. Dricot, and H. J. Reher. Survey of arc tracking on aerospace cables and wires[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. 1994,5(1),896-903.
- [2] FAA. Advisory Circular 25.1701-1, Certification of Electrical Wiring Interconnection Systems on Transport Category Airplanes[S]. U.S. : FAA, 2007.

Civil Aircraft Arcing Fault Analysis and Research

HOU Fusheng*, YUAN Ye

Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China

Abstract: Based on the analysis of arcing occurrence mechanism, civil aircraft arcing fault was divided into A and B. The generation and end of the two types of arcing fault have three stages, the causes of each stage were analyzed. Pointed out the harm of civil aircraft arcing fault, and prevention measures were put forward from aircraft design, manufacture, installation, operation and maintenance, et.al. According to the requirement of AC25.1701-1, civil aircraft arcing fault protection measures were put forward, which can prevent the occurrence of arcing fault effectively and reduce the harm of arcing fault.

Key Words: civil aircraft; arcing fault; arcing fault prevention; EWIS

Received: 2014-01-13 Accepted: 2014-02-21

* Corresponding author. Tel.: 15221681725 E-mail: houlafashion@gmail.com