

民用飞机机翼电加热防 / 除冰应用现状及技术难点

胡林权 *

上海飞机设计研究院, 上海 201210

摘 要: 对民用飞机机翼电加热防 / 除冰技术的工作原理及应用进行了介绍, 并就相关的技术难点进行了梳理和初步探讨, 为民用飞机机翼防 / 除冰方案的论证、权衡分析以及多电飞机或者使用复合材料机翼飞机的机翼电加热结冰保护系统设计提供了参考。

关键词: 机翼; 电加热; 防 / 除冰; 多电飞机; 复合材料

中图分类号: V244.1+5

文献标识码: A

文章编号: 1007-5453 (2016) 07-0008-04

机翼作为飞机产生升力的主要部位, 结冰会导致其平整度、外形以及气动布局发生改变, 从而造成飞机升阻比下降、升力系数降低、阻力增加, 严重危害飞行安全^[1]。目前, 最常用的机翼防 / 除冰方法是热气防冰, 即通过发动机引出的热气加热机翼前缘以防止结冰, 但是随着民用飞机的多电化以及复合材料在机翼上的使用, 电加热防 / 除冰技术也成为现代民用飞机研究的热门课题。

多年来, 研究人员一直在研究机翼电加热防 / 除冰技术, 但其在民用飞机上的真正应用目前只有波音 787 飞机。对于民用飞机机翼防 / 除冰而言, 电加热防 / 除冰的技术成熟度还不及热气防冰, 一些技术难点仍然有待深入研究。为此, 本文介绍了机翼电加热防 / 除冰的工作原理和应用情况, 梳理和初步探讨了相关的技术难点。

1 机翼电加热防 / 除冰的工作原理

图 1 所示为机翼电加热防 / 除冰的工作原理示意图, 电加热防 / 除冰系统通常由电源、控制面板、控制器组件以及布置在机翼中的加热元件等部分组成。其工作原理为: 控制器组件根据控制面板上的开关信号、结冰探测系统的信号以及加热元件的温度反馈信号, 控制加热元件的加热时间和加热功率, 从而将电能转化为热能, 阻止机翼前缘结冰。控

制面板上的开关信号可以通过硬线直接传输给控制器, 也可以通过航电网络的总线传输给控制器。控制器的电源输入通常包括 2 部分: 控制器内部控制电路的供电, 一般为直流电源; 加热元件的供电, 一般为交流电源, 该路电源通过控制器输出后才能给加热元件供电, 控制器内部通常由继电器控制该路电源是否能够输出。

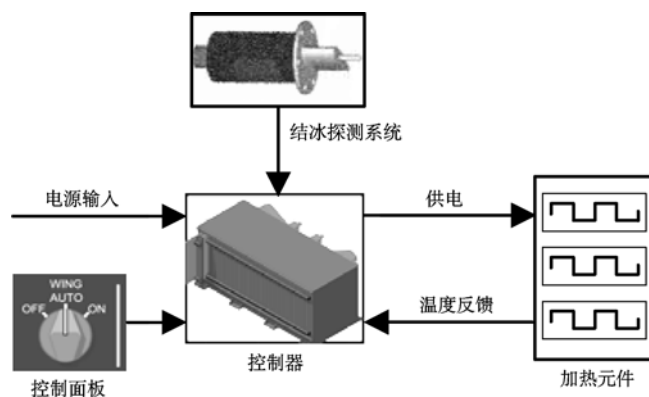


图 1 机翼电加热防 / 除冰工作原理示意图

Fig.1 Sketch for working principle of wing electrothermal anti-/de-icing

2 机翼电加热防 / 除冰的应用

目前, 民用飞机的机翼防 / 除冰采用的基本都是传统的

收稿日期: 2016-02-27; 退修日期: 2016-04-06; 录用日期: 2016-04-29

* 通讯作者. Tel.: 15021980028 E-mail: hulinquan@126.com

引用格式: HU Linquan. Application status and technical difficulties for civil aircraft wing electrothermal anti-/de-icing [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27 (07): 08-11. 胡林权. 民用飞机机翼电加热防 / 除冰应用现状及技术难点 [J]. 航空科学技术, 2016, 27 (07): 08-11.

热气防冰技术,即发动机引出的热空气,经过压力和流量调节后,进入机翼前缘的防冰腔,沿前缘通道流动,热空气在沿通道的流动过程中,把热量传给蒙皮以保证机翼前缘缝翼结冰防护区不结冰^[2]。

最新的民用飞机波音 787 飞机颠覆了以往的设计理念,一方面,采用了多电环控系统,取消了发动机引气系统^[3];另一方面,其机翼前缘采用的是复合材料,复合材料和金属材料相比,导热系数小、耐高温能力低,无法使用传统的热气防冰^[4]。因而,其机翼防/除冰采用了电加热防/除冰技术。

在波音 787 飞机上,机翼防/除冰系统采用加热垫来阻止机翼前缘的结冰。每侧机翼的防/除冰部分包括发动机外侧的 4 个前缘缝翼,对于具有机翼防/除冰保护的每个缝翼均设置多个加热垫,并采用分区设计。为了保持飞机的气动稳定性,系统对左、右侧机翼防/除冰采用对称的逻辑控制,如果某个加热垫失效,系统会给另一侧机翼与之对称的加热垫自动断电,以防止在结冰气象条件下,单侧失效造成两侧机翼的不对称结冰。

与传统的热气防冰系统相比,机翼电加热防/除冰系统有如下优点:

(1) 效率高、能耗低。不存在热能在系统管路中的损耗问题,热效率可以达到 75% 以上,远高于热气防冰的 50%。此外,为达到同样的效果,电加热防/除冰系统的能耗还不到热气防冰系统的 67%^[5]。

(2) 结构简单,维护性和可靠性高。取消了管路、阀门以及防冰腔等结构,使得系统结构简化。此外,加热垫的设置及分区设计可以大大提高系统的维护性和可靠性。

(3) 绿色、环保。无需从发动机引气,尽管电源功率略有增加,但由于电效率高、能耗低,总体来说,可以减少废气的排放,并降低发动机的噪声污染。

尽管机翼电加热防/除冰系统的优点突出,但其在民用飞机上的应用还很少,目前仅波音 787 飞机使用,该项技术的成功应用还需要突破一系列的关键技术难点。

3 技术难点探讨

3.1 加热元件的制造

用于机翼电加热防/除冰的加热元件必须具有一定的强度、耐疲劳特性等机械性能,与此同时,加热元件应能够良好的嵌入在复合材料机翼中。

波音 787 飞机机翼电加热防/除冰使用的加热垫是由英国 GKN 宇航公司制造的,其采用的是喷涂金属多层沉

积技术,即将液态金属直接喷涂到玻璃纤维织物上以形成导电层,通过产生持续均匀的热量来加热复合材料机翼前缘^[6]。为了使得加热垫能够固定在前缘缝翼上,需要事先在加热垫上加工好孔洞,这些孔洞的加工以及加热垫的固化成型都需要经过数控加工。目前,加热垫采用的热压罐固化成型工艺还存在能耗大的缺点,喷涂过程采用手动操作,加工工艺仍然存在一定的挑战。

为了降低成本、减小能耗,复合材料非热压罐固化成型技术受到越来越多航空制造商的青睐,如波音、空客以及 GKN 宇航公司等制造商已经在这方面进行了大量的研究,但该项技术成熟度的提高还要取决于市场环境和制造工艺等因素^[7]。

3.2 加热元件布局

机翼电加热防/除冰通常采用若干加热分区。研究发现,依靠电阻发热的加热元件,如果面积较大,会在中心处产生热点,分区加热不仅有利于对防/除冰热载荷实现局部温度控制,还能够有效避免中心热点的产生。图 2 所示为波音 787 飞机的机翼电加热防/除冰加热垫分区示意图,每个缝翼沿展向分成 6 个加热区域。

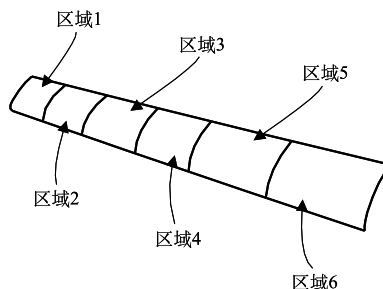


图 2 波音 787 飞机加热垫分区布局示意图
Fig.2 Sketch for B787 thermal mat arrangement

通常来讲,分区数的增加可以减少所需的加热功率,但分区增加到一定数量后,节能的效果就不再明显,且分区太多会造成控制系统复杂以及系统重量增加。民用飞机电加热防/除冰加热元件的分区是一个比较复杂的问题,需要通过计算分析以及反复试验才能确定。

3.3 控制律设计

机翼电加热防/除冰可以采用连续加热和周期性加热 2 种手段,对于连续加热,即所有的加热元件连续供电加热,保持表面平衡温度始终高于一定温度,保证水滴不会被冻结。周期性加热是指周期性地电能转化为热量,使表面冰融化,然后在空气动力或者离心力的作用下使冰脱落。

如果防/除冰系统的所有加热元件都处于连续供电加

热状态,这样会消耗大量电能。因此,在实际设计过程中,通常采用周期性的加热方式,通过选取合适的控制律,即合理的控制加热时间、冷却时间以及加热功率等,可以大幅度节省能量,并获得良好的防/除冰效果,为了防止不对称结冰,通常采用对称的控制逻辑。加热时间、冷却时间以及加热功率的确定是一个复杂的过程,最优控制律的获取,不仅需要精确的热力学计算,还必须经过大量的试验验证。

3.4 布线设计

由于机翼区域的布线空间狭小,而在飞机布线时,不仅要尽可能的优化线路长度,减小由于分布式加热元件引起的系统重量问题,还要考虑通道隔离以及电气线路的余度要求,这对电气布线提出了较高的要求。图3所示为机翼电加热防/除冰通道隔离的示意图。飞机布线时,采用A、B通道以实现电气线路互联系统(Electrical Wiring Interconnection System, EWIS)隔离,从而满足通道隔离及电气线路的余度要求。与此同时,为了使得线路长度最优而又不与系统结构干涉,就需要在三维数模中反复试验。

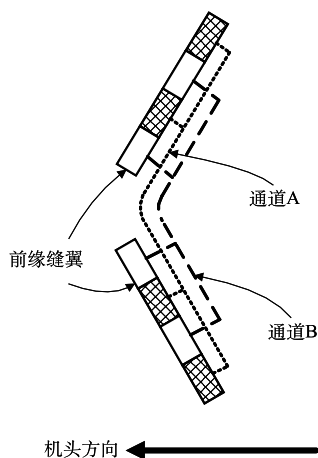


图3 机翼电加热防/除冰通道隔离示意图

Fig.3 Sketch for channel separation of wing electrothermal anti-/de-icing

在布线时,还需要考虑机翼前缘缝翼相对于机翼固定部分的运动。目前国外关于该部分的专利比较多,大多采用一种机翼伸缩电缆机构来传输电加热防冰的线缆,包括电源线、控制线和传感器信号线,从而允许加热组件和机翼固定前缘之间的线缆能够运动,以防止线缆在缝翼运动过程中损伤。

4 总结

尽管热气防冰是目前民用飞机机翼防/除冰的主流技

术,但随着民用飞机的多电化发展以及复合材料在民用飞机上的应用,机翼电加热防/除冰将得到更多的应用。本文对该技术的应用及技术难点进行了初步分析,希望能对国内飞机设计有所助益。

AST

参考文献

- [1] 胡琪, 黄安平, 孙涛, 等. 机翼防/除冰技术研究进展[J]. 科技导报, 2015, 33(7): 114-119.
HU Qi, HUANG Anping, SUN Tao, et al. Progress of airfoil anti-icing and de-icing technologies[J]. Science & Technology Review, 2015, 33(7): 114-119. (in Chinese)
- [2] 霍西恒, 刘鹏, 贾丽杰. 民用客机机翼热气防冰系统问题探讨[J]. 民用飞机设计与研究, 2010(4): 16-18.
HUO Xiheng, LIU Peng, JIA Lijie. Research of the wing hot air anti-icing system for the civil aircraft[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2010(4): 16-18. (in Chinese)
- [3] Mike S. 787 No-bleed systems: saving fuel and enhancing operational Efficiencies[J]. Aero Quarterly, 2007(4): 6-11.
- [4] 沈东. 复合材料热气防冰系统试验研究[J]. 航空工程进展, 2012, 3(2): 213-217.
SHEN Dong. Test research on composite material hot air anti-icing system[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2012, 3(2): 213-217. (in Chinese)
- [5] 高磊, 郑高翔, 党凡. 浅析复合材料电防/除冰工程应用[J]. 科技信息, 2013(12): 361.
GAO Lei, ZHENG Gaoxiang, DANG Fan. A brief analysis of electrothermal anti-/de-icing engineering application for composite material [J]. Science & Technology Information, 2013(12): 361. (in Chinese)
- [6] 刘代军, 陈亚莉. 用于波音 787 的新型复合材料机翼除冰系统[J]. 航空制造技术, 2009(17): 82-83.
LIU Daijun, CHEN Yali. Application of new type of composite wing deicing system in boeing 787[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(17): 82-83. (in Chinese)
- [7] 刘亚威. 复材制造技术的变革[J]. 大飞机, 2014(07): 106-107.
LIU Yawei. Change of composite material manufacture technology[J]. Jetliner, 2014(07): 106-107. (in Chinese)

作者简介

Tel.: 15021980028

胡林权(1988—)男,硕士,助理工程师。主要研究方向:
民用飞机防冰除雨系统电气设计。

E-mail: hulinquan@126.com

Application Status and Technical Difficulties for Civil Aircraft Wing Electrothermal Anti-/De-icing

HU Linqun*

Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China

Abstract: Working principle and application status of civil aircraft wing electrothermal anti-/de-icing technology were introduced. Related technical difficulties were combed and preliminary discussed. It can be a reference for plans argument and tradeoff analysis of civil aircraft wing anti-/de-icing and wing protection system design on more electric aircraft and aircraft of which the wing uses composite material.

Key Words: wing; electrothermal; anti-/de-icing; more electric aircraft; composite material

Received: 2016-02-27; **Revised:** 2016-04-06; **Accepted:** 2016-04-29

***Corresponding author. Tel. :** 15021980028 **E-mail:** hulinquan@126.com