

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2019.02.015

大型民机复合材料整体油箱表面 防护分析与设计

Surface Protection Analysis and Design of Composite Integral Fuel Tank for the Large Civil Aircraft

李 林 / LI Lin

(沈阳飞机工业(集团)有限公司, 沈阳 110850)

(AVIC Shenyang Aircraft Industry(group) Corporation Ltd., Shenyang 110850, China)

摘 要:

基于腐蚀环境和防护要求,对民机整体油箱腐蚀产生的原因进行了分析,并以此为基础,结合复合材料结构特点,阐述复合材料整体油箱材料相容性、结构防腐蚀表面处理要求和油箱积液控制的设计方案。

关键词: 化学腐蚀; 电化学腐蚀; 死油控制

中图分类号: TB33

文献标识码: A

OSID:



[Abstract] According to corrosive environment and protecting requirements, this paper analyzes the corrosive reasons for the civil aircraft integral fuel tank. Based on the above results and combined with characters of composite, the design plans for material comparability, surface corrosion protection requirements and effusion area surface protection of the composite integral fuel tank were introduced.

[Keywords] chemistry corrode; electrochemistry corrode; dead oil control

0 引言

整体油箱的局部环境导致油箱的腐蚀是影响飞机安全性和可靠性的重要隐患,整体油箱的腐蚀控制涉及到设计、制造、使用及维护、维修多个环节,其中设计是整体油箱腐蚀控制的最关键因素,是腐蚀控制的源头。大量实验和实践证明,整体油箱初始设计腐蚀问题处理不好,后期的维护、维修费用远远高于设计、制造投入,且往往难以达到预期效果。

复合材料能更有效地减轻结构重量,复合材料整体油箱已普遍应用到民用飞机设计中。由于复合材料的导电性和成形工艺方面的特殊性,复合材料油箱在材料选用、结构密封防腐处理、死油控制等方面有着特殊的设计要求。

某型新一代 110-130 座级的民用支线客机,其复合材料中央翼盒整体油箱由碳纤维的上、下壁板,前、后梁及金属材料的支撑肋和连接件组成。本文

从分析复合材料整体油箱的腐蚀机理出发,结合复合材料设计、使用要求,通过研究上述民机复合材料整体油箱的设计,阐述现代大型民用飞机复合材料整体油箱表面防护设计方案。

1 油箱结构防腐、密封设计

机翼整体油箱结构常见腐蚀类型有:环境介质腐蚀、微生物腐蚀及结构间电偶腐蚀。按腐蚀机理分析,上述腐蚀可划分为化学腐蚀和电化学腐蚀。化学腐蚀与腐蚀环境相关,可对零件表面采取保护性修饰,避免受到环境的直接作用。零件表面修饰包括表面处理、电镀、有机涂层(底漆和面漆)、防腐化合物或其他保护表面的涂层材料。电化学腐蚀与材料相容性相关,是电位不同的两种材料连接并与电解液接触时引起低电位材料发生的腐蚀,其防护设计也应从破坏电偶腐蚀发生的三个条件着手。

1.1 化学腐蚀防护

根据化学腐蚀发生的情况,防护层次可依照结构制造流程和零件、组件、油箱部件的顺序实施表面处理及界面密封的防护设计,如表1、图1所示。

表1 油箱零件表面、界面防护措施

零件材料	表面防护	界面防护	装配后紧固件 端头防护
铝合金	C+P+TC	W+I+F	油箱外表面:
钛合金	打磨+P+TC	W+I+F	W+P+TC
碳纤维 维层板	打磨+针孔腻子 +P+TC(外表面)	边缘树脂 密封	油箱内表面:
	打磨+针孔腻子+P +导电涂层(内表面)	W+I+F	S+P+导电涂层

注:C,硫酸阳极化;P,底漆;S,密封;W,紧固件湿安装;I,贴合面密封;F,填角密封;TC,面漆。

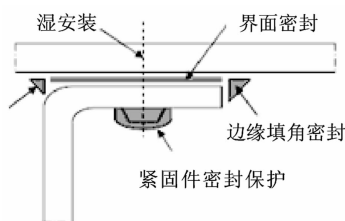


图1 界面防护措施

零件表面防护、装配中表面防护和装配后表面防护及相应界面3个层次的防护设计,使表面防护措施的实施贯穿于制造的各个阶段,多层次地将使用材料与应用环境隔离,避免化学腐蚀情况发生。

1.2 电化学腐蚀防护

结构零件间的腐蚀主要是电化学腐蚀。控制电化学腐蚀一个很重要的措施是避免不同材料的接触,因为这种接触造成的电偶合会给腐蚀提供动力。对有紧密接触的零件选择材料和最终表面处理时需要一些特殊的考虑。

金属和复合材料表面紧密接触,选用的材料要有特殊考虑,因为不同类材料的接触会导致电耦合,由于电池作用而加速相互间的腐蚀。根据材料间电位活性差别,将常用材料分类如表2所示。

表2 相似材料分组

材料分组	相似材料
I	镁
II	镉, 锌, 铝和铝合金, 镉-钛镀层
III	铁, 铅, 锡和它们的合金(不锈钢除外)
IV	铜和其合金, 铬、镍和其合金, 银、金、铂、钛、钴、铈和其合金, 不锈钢和碳纤维

1.2.1 金属材料间装配/连接的防护

要防止电偶腐蚀,相互接触的金属要尽可能在同一电位组(见表2)内选取。如果不可避免地出现电偶,可通过下述方式平衡电偶:

1) 电镀一层相似金属;

2) 使用附加的涂层、密封胶、胶带和绝缘垫圈让金属绝缘,以破坏导电路径;

3) 对永久性连接,用密封胶把穿过电解质的连接区域覆盖起来,让连接绝缘。对非永久性连接用防腐的化合物。

1.2.2 金属与复合材料间装配/连接的防护

金属和复合材料表面紧密接触的情况,根据选用的材料,表面要作特殊防护处理。

1) 玻璃纤维

玻璃纤维是不导电的,而且对任何其他材料都不会引起电化腐蚀,因此对电化腐蚀防护没有特殊的要求。

2) 碳纤维

(1) 用于与碳纤维直接接触的材料选择的优先顺序是钛、不锈钢和蒙乃尔合金。

(2) 如果使用了以下一个或多个绝缘方法,那么可以将碳纤维层压板与表2第IV组材料直接装配:①在碳纤维层压板的接触部位铺一层玻璃纤维或Kevlar预浸料;②在碳纤维零件的接触面上,涂一层防水底漆。

(3) 如果使用了以下所有的绝缘方法,可以将碳纤维层压板与表2第II组或第III组材料(如:铝、镀镉钢)直接装配。

在接触区域,在碳纤维层压板的表面铺一层玻璃纤维预浸料。

可接受的备选方案是:

①在阳极化、转化涂层或镀层后的铝或钢衬套零件上,至少涂一层防水底漆;

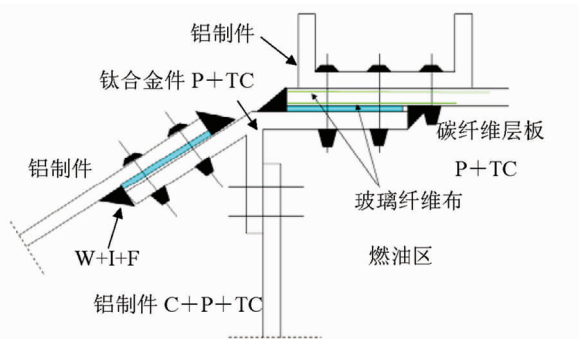
②在碳纤维零件和接触结构之间使用永久的或可分离的表面密封,但不能使用涂满黏合剂的闭合蜂窝泡沫胶。

按上述要求某民机复合材料整体油箱结构表面处理防护设计如图2所示。

有电位差的材料相连,就是要尽可能地阻断电通路并避免电解液的渗入,全方位地破坏电偶腐蚀发生的三个条件。

1.3 紧固件装配组合防护

复合材料整体油箱由碳纤维、铝合金及钛合金



注:C,硫酸阳极化;P,底漆;W,紧固件湿安装;I,贴合面密封;F,填角密封;TC,面漆。

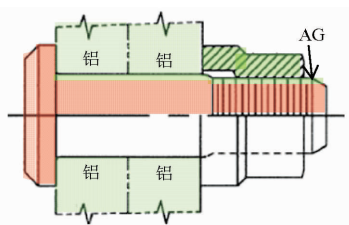
图 2 整体油箱结构表面处理防护设计

材料零件组成,紧固件的选用除满足功能要求外,还要考虑紧固件材料与配合材料的电化学腐蚀相容性及与被连接件装配组合型式。

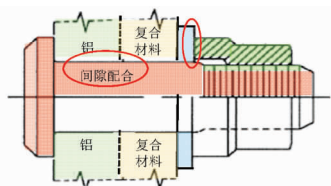
紧固件的选取,还要防止其与连接结构之间发生电化学腐蚀现象。根据表 1、2 及紧固件材料情况,用于整体油箱的紧固件材料选择的优先顺序应是钛,不锈钢和蒙乃尔合金。

某民用飞机复合材料整体油箱为防止在装配时铆接击打及干涉配合的挤压作用,使复合材料零件有分层的可能,只选用钛合金或不锈钢的 Hi-Lite 钉杆和钉套或抗拉螺栓紧固件,且对复合材料件采用间隙配合,并在钉套与复材件间加不锈钢垫圈以降低复合材料承压应力。

复合材料整体油箱典型连接件组合如图 3 所示。



(a) 金属材料连接方式



(b) 复合材料连接方式

注:涂层 AG,涂有色的酚基铝;涂蜡醇基润滑剂(用于金属间连接);涂层 GD,仅在螺纹上涂有色的酚基铝;涂蜡醇基润滑剂(用于金属与复合材料、复合材料间连接)。

图 3 整体油箱紧固件组合连接方式

2 油箱排水系统设计

根据机翼的总体布置要求,油箱积液区处于整体油箱的底面后部,防护设计内容包括死油的控制和积水的排出以及积液区的防腐蚀保护。

油箱里无法被系统吸走利用的燃油就是死油(如图 4 的绿色区域部分),死油对飞机来说是无用的,燃油中含有水分和其他杂质,长期驻存不流动,容易滋生微生物,影响燃油质量、损害油箱结构材料。要减小死油含量,可以考虑将各个结构件间的存油导通到翼盒的最低点,以供燃油管路来抽取。飞机在使用过程中油箱内会存有积水,如果水含量过高,进入燃油管路会损害发动机,所以要在油箱最低区域设置排水阀,定期将水排出。从机翼的整体结构来看,整体油箱最低区域位于下壁板长桁倒数 2、3 隔段间。为尽量减少对复合材料壁板的钻孔损伤,在第 2 和第 3 隔段各只布置 1 个排水阀且分布在油箱左、右两侧。

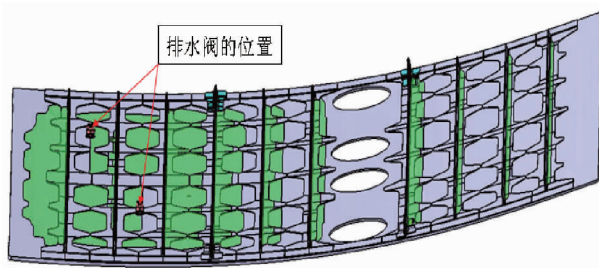


图 4 油箱死油区域及排水阀布置

要将其他长桁隔段间的燃油和积水导入到最低区域,初步方案是在长桁上开排水孔,如图 5 所示。

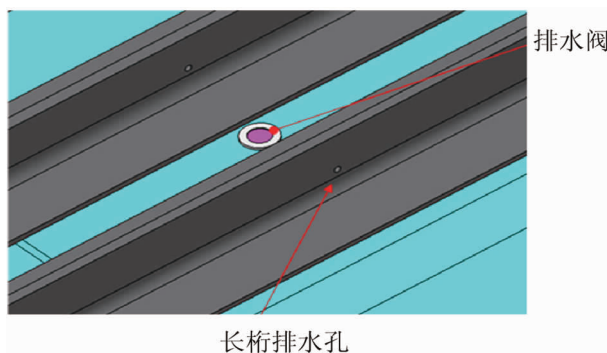


图 5 排水孔方案

这种方法在金属长桁上比较常见,但是对复合材料长桁来说,由于开孔处于底角处,在共固化后的组件上开孔操作比较困难,而且此处为铺层缺陷容易发生的区域,在这制孔难以保证质量。

另外一种办法是在长桁铺放时在卧边下垫一个工艺辅助半圆柱件,壁板固化后去掉工艺件形成一个排水孔,如图6所示。

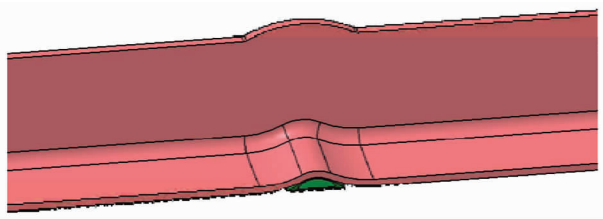


图6 工艺辅助件制排水孔

这种方法优点是该孔处于最低位置,可以最大限度地允许燃油通过,但这种结构形式会形成长桁卧边褶皱,相当于卧边纤维切断,传载效率大大降低,这也是不可取的。

上述穿过长桁的两种方案都不适用于复合材料长桁结构,可以考虑绕过长桁的方法。根据强度理论和减重需要,下壁板长桁立边两端有斜削以至立边稍短于卧边,同时利用油箱的总体布局形式及飞行过程中只要有一些晃动,积存在长桁之间的燃油会通过长桁立边斜削处流往最低点,如图7所示。排水阀分列所在隔段的左或右侧(见图4),导致另一侧的燃油和积水由于油箱内部支撑肋的阻隔不能到达排水阀处。针对这一情况,可考虑将排水阀隔段的长桁卧边在壁板支撑肋处缩小尺寸,使两长桁卧边之间留有通油槽,如图8所示。这种办法可将死油控制在15 lb左右。

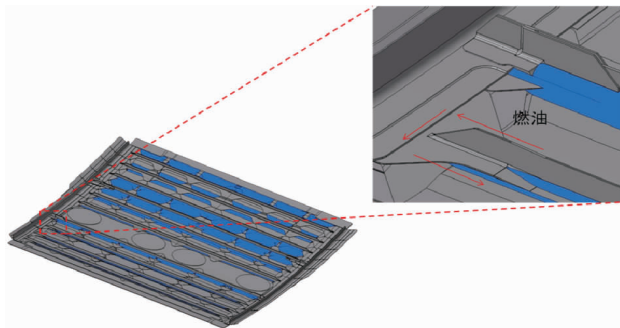
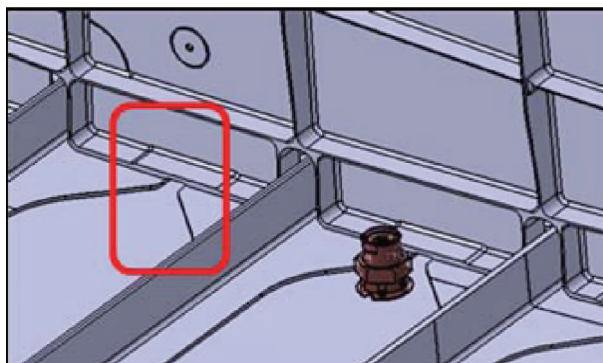


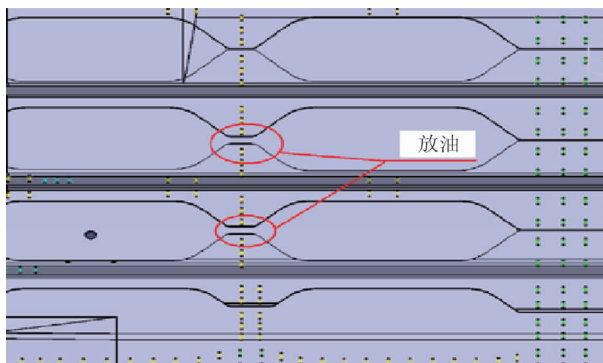
图7 燃油流动路线

通油槽位于下壁板长桁倒数2、3隔段间,结构形式如图8所示。共4处,第2长桁前、后及左、右肋1下缘条处。

排水的时候,从油箱下部将阀门打开,由于水的密度比燃油大,所以先排放出来的是积水,待开始排放出燃油时可知积水已经排放干净,再将阀门关闭即可。



(a) 通油槽位置



(b) 通油槽形式

图8 通油槽的位置及形式

3 结论

按上述表面防护要求设计出的复合材料整体油箱,经实践证明安全、可靠,能满足使用需求。复合材料结构在使用中可能遇到的各种使用环境都可能引起其退化和变质。复合材料的腐蚀机理较复杂,在结构设计时,必须考虑相应的防护措施,以保证结构的完整性。

参考文献:

- [1] 中国航空研究院. 复合材料结构设计手册[M]. 北京: 航空工业出版社,2004.
- [2] 陆榕海,余飞,赵斌. 复合材料结构腐蚀分析及对策[J]. 航空维修与工程,2006(2):45-48.
- [3] 冯振宇,陈磊,周惠文. 飞机整体油箱的微生物腐蚀及维护[J]. 航空维修与工程,2009(3):54-56.
- [4] 方尚庆. 大型民用飞机复合材料整体油箱表面防护设计研究[J]. 航空科学技术,2016,27(5):42-46.

作者简介

李林 男,本科,高级工程师。主要研究方向:复合材料在飞机结构设计中的应用、制造及修理。E-mail: li.lin@saci.net.cn