航空科学技术
Aeronautical Science & Technology
May. 15 2018 Vol. 29 No.05 38-42

复杂环境下起落架舱电缆组件设计与探讨

周珺[1,*]，王茜[2]

1. 航空工业第一飞机设计研究院，陕西 西安 710089

2. 伦敦大学学院，英国 伦敦 WC1E 6BT

摘　要：基于复杂环境下的电缆组件防护设计问题，以某型飞机为例，从电缆组件的组合防护、电性能防护、力学特性防护、分叉处的防护、电磁兼容防护、外部防护、与插头等部件连接处的防护等方面给出了复杂环境下的起落架舱电气线路互联系系统（EWIS）电缆组件防护设计方法，该方法已通过某型飞机装机使用和验证，证明能够满足电缆组件设计的腐蚀防护、电磁防护、防水密封、机械防护、适航等要求，并可以提高飞机电缆组件所控制系统的安全性和可靠性。

关键词：起落架舱；电缆组件；防护设计；适航

中图分类号：TP212　　**文献标识码**：A　　**DOI**：10.19452/j.issn1007-5453.2018.05.038

一直以来，复杂环境下的起落架舱[1]电缆组件设计都是飞机电气系统电缆组件设计中最为关键的问题。如果电缆组件防护设计不合理，很容易造成电气线路互联系统（EWIS）线路腐蚀或损坏。起落架舱电缆组件用于满足起落架舱所有系统（包括起落架的收放、刹车以及液压泵等系统）的信号传输和控制连接。如果线路发生电气绝缘、短路、断路等防护不当故障，直接影响到飞机的飞行安全。因此，需对飞机起落架舱电缆组件防护设计进行深入研究。

1 电缆组件的组成与作用

《中华人民共和国国家军用标准》GJB 1014.1—90[2]对电缆组件的定义如下：经整理、排列并能作为一个组件进行安装或拆卸的多根电线、电缆或光缆、线组及其端接的连接器组件，称为线束，线束一般也称为电缆组件。

飞机的电缆组件一般由电线、电缆或光缆、插头、插座、接线端子、分线器、热缩套管、防波套、模缩套等各类EWIS部件组成。电缆组件的作用是实现电气线路互联系统的信号传输和控制连接，并满足布线和安装要求。

2 设计要求

复杂环境下的起落架舱电缆组件防护设计必须结合起落架舱的自然环境、机械环境、电磁环境等实际工作环境需求来开展，同时还要考虑适航、安全性、维修性、重量等方面的设计需求，对电缆组件进行电气性能、力学特性、物理特性、绝缘性能等防护设计[3]。电缆组件防护设计还要通过对电缆组件进行合理的组合布置、正确的连接、安装固定来实现。最终结合该区域特殊设计需求进行起落架舱电缆组件防护组合设计。

2.1 环境设计要求

（1）自然环境

电缆组件防护设计时应重点考虑自然环境问题。复杂环境下的起落架舱属于非气密舱，舱内电缆组件可能处于温度高/低、紫外照射、湿热、霉菌、盐雾、沙尘、雨雪等恶劣环境中。飞机在起飞、地面停放或着陆时，起落架舱内的电缆组件裸露在飞机舱外面，雨水、海水直接溅射和积存的可能性更大，因此，电缆组件防护设计要有很好的“三防”（湿热、霉菌、盐雾）、密封、屏蔽、防尘等功能。

（2）机械环境

在飞机着陆时，起落架舱和机身电缆组件都将承受很大的冲击载荷，这种冲击载荷一般会造成飞机电缆组件及其防护材料的疲劳损伤和振动破坏。同时，跑道上泥沙石对电缆组件的冲击破坏作用也很大。因此，电缆组件防护设计要有较强的机械防振性能和防转子爆破功能。

收稿日期：2018-03-21；　退修日期：2018-04-03；　录用日期：2018-04-16

* 通信作者 . Tel.：029-86832925　E-mail：15332388985@163.com

引用格式：Zhou Jun, Wang Xi. Design and discussion of landing gear compartment cable assembly in complex environment [J]. Aeronautical Science & Technology, 2018, 29(05): 38-42. 周珺，王茜．复杂环境下起落架舱电缆组件设计与探讨[J]. 航空科学技术, 2018, 29(05): 38-42.

（3）电磁环境

复杂环境下的飞机起落架舱属于电磁开放区域，飞机在起飞和着陆的过程中，电缆组件裸露在飞机舱外面，受电磁环境和雷电效应影响较大，起落架舱电缆组件防护设计要满足抗电磁干扰、高强度辐射场（HIRF）防护和雷电防护设计要求，电路连接处的屏蔽不得中断并确保在装机状态下系统能正常工作。

2.2 腐蚀防护设计要求

复杂环境下的起落架舱电缆组件设计除了满足其特殊功能要求外，还应满足腐蚀防护与控制要求，包括电线 / 电缆等 EWIS 部件的选材、电缆组件外层防护结构密封设计、不同材料部件连接处的防接触腐蚀设计等[3]。同时，起落架舱电缆组件中的每一部件尽可能都能承受工作环境考验，应能抵抗水等液体的浸入及腐蚀。

2.3 适航设计要求

电缆组件防护设计要满足《中国民用航空规章》CCAR-25 § 25.1701 条款、§ 25.729f 条款、§ 25.1707 条款要求，同时还要考虑 CCAR-25 H 分部的要求[4]。CCAR-25 § 25.729f 条款要求位于起落架舱的电缆组件需考虑轮胎爆破对电缆组件的破坏影响。CCAR-25 § 25.1707 条款要求位于起落架舱的电缆组件与其他系统隔离，这就要求要考虑系统的余度、安全性等进行不同种类的电缆组件组合及防护设计，不同种类应独立布线敷设安装。同时，还必须保证布线时与液压管路和其他部件具有足够的物理分离；必须与飞行或其他机械控制系统钢索和相关系统活动部件具有足够的物理分离。

2.4 其他要求

电缆组件防护设计还应从安全性、维修性、重量等方面出发，结合区域特殊要求，进行电缆组件的组合、防护、布置、安装一体化设计，将电缆组件敷设安装与起落架结构设计需求进行综合考虑，即将电缆组件敷设时考虑的防护综合到电缆组件设计中。最终因电缆组件的合理设计使得电缆组件的制作、防护、安装等更为轻量化和合理，简化安装程序，提高生产效率。

3 正向防护设计

以某型飞机复杂环境下的起落架舱电缆组件防护设计为例，分析电缆组件防护设计方法。首先，综合考虑环境适用性、安全性、可靠性、维修性、适航性要求、重量等因素，然后再决定对电缆组件什么部位、采取什么样的防护方式来进行电缆组件防护正向设计。

某型飞机起落架舱电气线路互联系统电缆组件防护设计主要包括电性能防护设计、力学特性防护设计、电磁兼容防护设计、外部防护设计等几方面工作，从而最终满足电缆组件的自然环境、机械环境、适航、腐蚀防护等设计需求。首先将起落架舱电缆组件按其特征及其传输信号的性质进行分类，组合成不同的电缆组件；然后对不同的电缆组件进行独立布线连接和各类防护设计。

某型飞机起落架舱电缆组件防护设计的不同电缆组件的布线安装如图 1 所示，起落架舱电缆组件典型防护设计结构如图 2 所示。

3.1 电缆组件防护结构设计

某型飞机起落架舱电缆组件[4]包括电连接器、屏蔽分线器、电缆、波纹管、热缩套管、屏蔽套、模缩套等。考虑到起落架舱属于非气密舱，舱内的温度、湿度、霉菌、盐雾等条件恶劣，着陆时高振动及强冲击，电磁环境复杂，对起落架舱电缆组件进行了整体防护设计。起落架舱电缆组件采用多层防护设计结构，外部防护结构如图 3 所示。

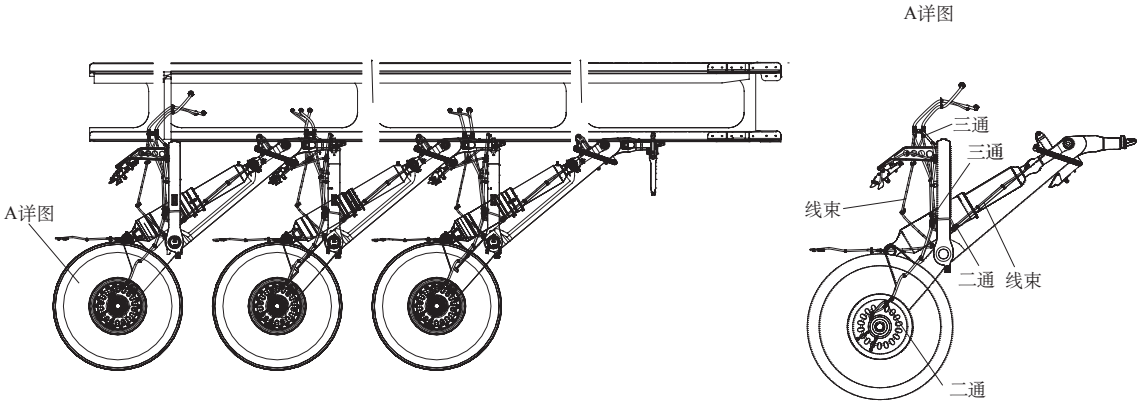

图 1　不同电缆组件布线安装示意图

Fig.1　Wiring installation different of cable assemblies

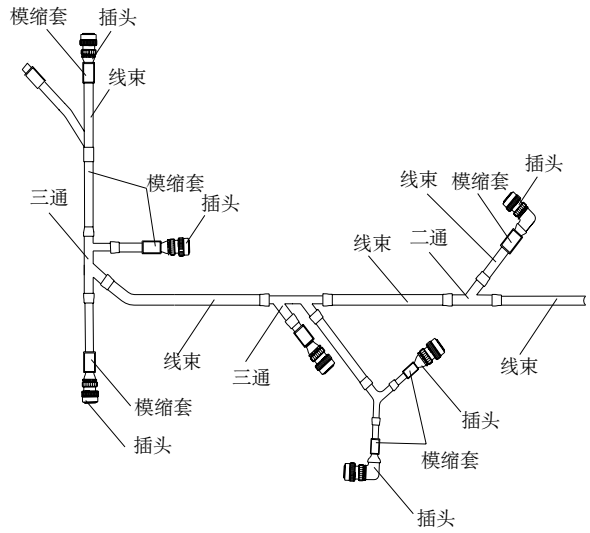

图 2 典型防护设计结构示意图

Fig.2 Structure diagram of typical combination protection design

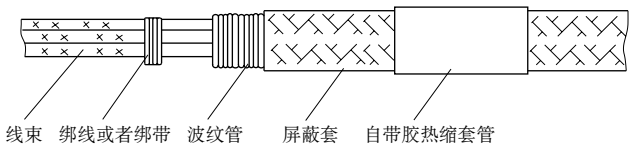

图 3 起落架舱电缆组件外部防护结构示意图

Fig.3 Landing gear compartment harness outer protective structure diagram

为解决绝缘、机械保护、应力消除、环境密封、电磁防护、防腐耐油等问题，电缆组件外部套有保护套管。电缆组件采用的保护套管包括屏蔽套、热缩管套和波纹管。具有耐高温、耐腐蚀、柔软、收缩性好等特点的热缩管主要用于电缆连接处、电缆端部及 EWIS 部件防护和绝缘，也用于电缆组件外部保护。具有耐高温、耐磨损、耐腐蚀和一定强度的波纹管可以保证电缆组件承受高温，在振动、撞击、冲击后正常工作而不损坏。

具体方法为：电缆集束后增加电缆组件抗拉强度；然后用绑线或者绑带缠绕电缆组件，增加耐磨性；再套波纹管，实现机械防护，提高整体抗拉强度，释放安装时的弯曲应力，同时保证防水性；套高密度屏蔽套，增强机械防护的同时，保证产品屏蔽性良好，实现了电磁防护；最外层套热缩套管，可以防止屏蔽套损伤，同时很好地应对沙尘、淋雨等环境，保证产品的密封防水、可靠性及耐久性要求。

3.2 电缆组件分类组合设计

为了安全，防止可能产生的电磁干扰，首先按电缆组件的特征及其传输信号的性质进行电缆组件分类。由于起落架舱的电气设备位于不同机轮和不同位置，每个起落架机轮上又同时存在多个安装电缆组件通道，因此设计成多根电缆组件，使起落架支柱电缆组件相互独立，内、外机轮按余度分为独立的电缆组件。考虑维修要求，在起落架舱与机身结构对接处设置电缆组件安装分离面，不同电缆组件设置各自独立的分离插座，以便维修更换。活动区域电缆组件长度均根据起落架收放试验来确定。根据信号特性选择耐环境屏蔽电缆；选择抗振性能好并具有锁紧功能的电连接器；选用的电连接器均带尾线夹，以防电连接器端接处受力并能保证电缆实现 360º 屏蔽；独立设置冗余系统间的电连接器。电缆组件位置相邻电连接器均进行防插错设计。根据确定的电缆组件分离面、敷设通道及具体安装形式，结合系统接线图，考虑信号特性、系统的冗余、安全性等因素来进行详细电缆组件组合。

3.3 电性能防护设计

为保证传输信号正常和电流的大小满足使用要求，根据设备的工作电流选取截面积合适的电缆。按其信号特征及其传输信号的性质选择具有耐腐蚀、耐高温、不易燃烧、强度高、电阻小等特点的电缆。选取的电缆、电缆组件的外层保护套均具有良好的绝缘性能。在电缆与电缆的连接处、电缆与接触件的连接处、电缆与接线端子等 EWIS 部件连接处均用热缩管套进行了绝缘保护。

3.4 力学特性防护设计

电缆组件长度确定时留有一定的余量，以满足电缆组件布线时的机械要求；根据连接部件之间的距离尽量缩短电缆组件的长度，以保证压降符合设计要求。为保证在振动、冲击等工作环境下控制系统各部件之间连接可靠性，所选用的电连接器要具有盲插、防插错、锁紧固定的功能；所选用的其他 EWIS 连接部件要具备防松脱功能，连接部件要保证接触件的稳固，接触良好。同时，为保证电连接器与电缆组件以及其外部保护套的连接牢靠，在选取电连接器时不仅选择了与电连接器配套的尾附件，还考虑了选择合适的尾附件类型来固定电缆组件。选取的尾附件类型有屏蔽式、热缩护套式等。在电缆组件防护设计时，要求热缩头与电连接器接合面及热缩头与电缆组件的接合面可填入热熔胶后再将热缩头进行热缩，以提高电缆组件的密封性和抗拉扯性。通过以上方法，可以很好地满足电缆组件的力学特性防护设计要求。

3.5 分叉处的防护设计

为了方便对电缆组件进行布置、安装及连接，对电缆组件进行了合理的分叉。电缆组件的分叉通过屏蔽分线器来

完成。屏蔽分线器采用了金属结构，保证屏蔽性能和抗振动性能，屏蔽分线器与电缆接触界面能实现 360° 屏蔽连接，屏蔽分线器的内部和出线口处增加了机械防护。根据电缆组件的不同布线和安装要求，设计不同形式的屏蔽分线器，如图 4 所示。通过以上方法，实现了电缆组件分叉处的机械防护、电磁防护、密封防水、腐蚀防护等。

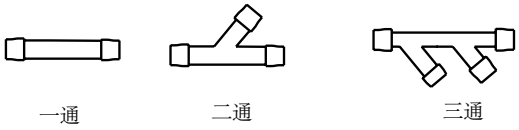

图 4　屏蔽分线器结构示意图
Fig.4　Shielded distributor structure diagram

3.6 电磁兼容防护设计

为满足电缆组件电磁防护设计要求，起落架舱电缆组件采用双层屏蔽设计。除电缆全部选用双层屏蔽电缆外，在其外部再套一层屏蔽套，且电路连接处的屏蔽不中断，从而将芯线完整地覆盖起来，以改善电磁屏蔽的效果。同时还选用了带有抗电磁干扰的滤波电连接器。屏蔽套与电连接器壳体采取全方位 360° 接触，同时，采用屏蔽套裹紧尾附件的方法来加强电磁屏蔽的效果。对于不同信号特性类别的电缆组件尽可能单独成电缆组件并独立敷设安装。对不同的接地线采用了合理的接地方式，如多点接地、单点接地、混合接地等。同时，尽可能将接地线加粗和缩短，来加强电磁屏蔽的效果。通过以上方法，可以很好地实现电缆组件的电磁防护。

3.7 连接处的防护设计

电缆组件与插头等 EWIS 部件连接处采用模缩套实现了密封防水保护。起落架舱电缆组件中的电线与尾部附件全部通过记忆环捆扎达到 360° 电磁屏蔽接地保护，同时采用模缩套实现密封防水保护。电缆组件与插头连接处防护如图 5 所示。通过以上方法，实现了电缆组件与插头等 EWIS 部件连接处的机械防护、电磁防护、密封防水、腐蚀防护、适航设计等。

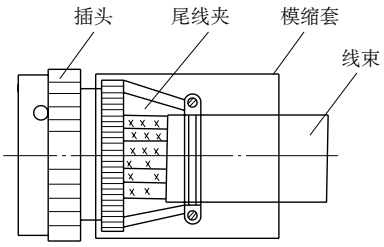

图 5　连接处防护设计示意图
Fig.5　Connection protection design sketch

4 结束语

本文采用一体化防护设计方法对飞机起落架舱电缆组件进行设计，并经过试飞和验证进行了多方位的检验，证明该防护形式是有效、合理和可行的，能够满足飞机起落架舱电缆组件的各类设计要求。该设计方法具有防电磁干扰好、高强度辐射场（HIRF）防护好、雷电防护和耐机械环境好、防水性能好、重量轻的优点；电缆组件防护设计和制造均满足电磁干扰、HIRF 防护和雷电防护、适航等要求。起落架舱电缆组件的连接防护设计实现了 360° 全屏蔽和非常好的屏蔽连续性，具有电缆组件防护设计加工工艺简单、易于实施的优点。

AST

参考文献

[1] 中国民用航空局 . CCAR-25-R4　中国民用航空规章 25 部：运输类飞机适航标准 [S]. 北京：中国民用航空局,2011.
Civil Aviation Administration of China. CCAR-25-R4 Civil aviation regulation of China airworthiness standards Part25：transport category airplanes[S]. Beijing：Civil Aviation Administration of China，2011.（in Chinese）

[2] 国防科学技术工业委员会 . GJB 1014.1-90　中华人民共和国国家军用标准：飞机布线通用要求 [S]. 国防科学技术工业委员会，1991.
National Defense Science and Technology Commission. GJB 1014.1-90　National military standard of the people s republic of China：General requirements for aircraft wiring general information [S]. National Defense Science and Technology Commission，1991.（in Chinese）

[3] 周珺，邓健，杨阳 . 舰载机电气线路互联系统腐蚀问题分析及解决措施 [J]. 航空科学技术 , 2017, 28(12)：43-46.
Zhou Jun, Deng Jian, Yang Yang. Electrical wiring interconnection system of carrier aircraft[J]. Aeronautical & Science Technology, 2017, 28(12)：43-46.（in Chinese）

[4] 《飞机设计手册》总编委会 . 飞机设计手册：第 16 册　电气系统设计 [M]. 北京：航空工业出版社，2005.
Editorial Board of Aircraft Design Manual. The manual of aircraft design vol.16 Wlectrical system design manual[M]. Beinjing：Aviation Industry Press, 2005.（in Chinese）

作者简介

周珺（1969－ ）女，学士，高级工程师。主要研究方向：飞

机电气系统控制和 EWIS 设计。
Tel：029-86832925 E-mail：15332388985@163.com

王茜（1995— ）女，硕士研究生。主要研究方向：电气自动控制系统设计。

Design and Discussion of Landing Gear Compartment Cable Assembly in Complex Environment

Zhou Jun[1,*], Wang Xi[2]

1.AVIC The Fist Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

2.University College London, London WC1E 6BT, United Kingdom

Abstract: Based on the design of cable assembly protection in complex environment, took a certain type of aircraft as an example, cable assembly protection design method was given considering of combination protection, electrical performance protection, mechanical properties protection, bifurcation protection, electromagnetic compatibility protection, external protection, joint protection etc.The method has been installed in a certain airplane, proven to satisfy the requirements of cable assembly corrosion protection, electromagnetic shielding, waterproof sealing, mechanical properties protection and airworthiness. And can improve the safety and reliability of airplane beam control system.

Key Words: landing gear compartment; cable assembly ; protection design; airworthiness

Received: 2018-03-21； **Revised:** 2018-04-03； **Accepted:** 2018-04-16

***Corresponding author.Tel.:** 029-86832925 **E-mail:** 15332388985@163.com