

民用飞机研制阶段 EWIS 构型管理

EWIS Configuration Management for Civil Aircraft Development

肖 乾¹ 黄铭媛² / XIAO Qian HUANG Mingyuan

(1. 上海飞机设计研究院, 上海 201210; 2. 中国民航上海航空器适航审定中心, 上海 200335)

(1. Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China;

2. Shanghai Aircraft Airworthiness Certification of CAAC, Shanghai 200335, China)

摘 要:

2007 年底 FAA 发布新的规章修正案, 将电气线路互联系统 (electrical wiring interconnection system, 简称 EWIS) 的适航要求以独立分部-H 分部的形式纳入 FAR 25 部运输类飞机适航标准, 将 EWIS 提升到飞机的一个重要综合系统来看待, 其研制过程需进行系统性的考虑, EWIS 的构型管理成为适航取证的重要关键环节。结合 EWIS 研制特点阐述了 EWIS 构型管理面临的挑战, 分析并研究了 EWIS 构型管理的类别及关键内容, 提出了管理策略建议, 对于民用飞机 EWIS 的研制具有现实指导意义。

关键词: 民用飞机; EWIS; 构型管理; 构型基线

中图分类号: V221

文献标识码: A

[Abstract] Electrical wiring interconnection system (EWIS) as a part of FAR 25 regulation is issued in the end of 2007, which requires EWIS shall be considered as an important integrated system of aircraft, and EWIS development shall comply with systematic methods. EWIS configuration management (CM) is an essential part for certification. This paper introduces the features of EWIS development accompanied with the challenges for EWIS configuration management. The objects and key contents of EWIS configuration management are analyzed and studied. The strategy methods are presented. This paper can be very helpful to guide EWIS development for civil aircraft.

[Keywords] civil aircraft; electrical wiring interconnection system (EWIS); configuration management; configuration baseline

0 引言

电气线路互联系统 (electrical wiring interconnection system, 简称 EWIS) 包括安装在飞机任何区域的各种电线、端接器件、布线器件, 组合构成的系统, 用于在两个或多个端接点之间传输电能 (包括数据和信号)。

本文“研制阶段”指的是从项目之初的概念设计到最终获得型号合格证 (TC) 期间。在这期间, EWIS 系统主要工作内容包括需求确认、接口定义、设计发图、试制生产、试验等验证及出版物编制等工作。

构型管理 (configuration management, 简称 CM) 属系统工程的过程, 用于在产品全生命周期内建立

和维护产品性能、功能、物理特性与其需求、设计和运营使用的信息相一致。简而言之 CM 的目的是确保产品状态清晰可控。

2007 年底, 美国联邦航空局 (FAA) 发布了 FAR25 部新修正案, 将 EWIS 适航规章作为独立的 H 分部纳入 FAR 25 部《运输类飞机适航标准》, 将 EWIS 提升到飞机的一个重要综合系统来看待。从此, EWIS 不能仅仅简单地按照传统工业标准规程进行安装和维护, EWIS 的研制过程需进行系统地考虑, EWIS 的构型管理成为适航取证的重要关键环节。

1 EWIS 特点及构型管理的挑战

民用飞机 EWIS 的以下特点使得其构型管理具

有极大的挑战性。

1)EWIS 是高度综合化的系统,与飞机各系统、结构、环境密切关联。如图 1 所示,EWIS 是飞机近 30 个主功能系统的电气互联载体,连接上千个电子电气设备;EWIS 的安装遍布全机,与结构接口达几

万处;EWIS 与周围环境的管路、设备、结构有电磁、电弧、发热、污染等强耦合关系。因此 EWIS 对构型高度敏感,任何系统、结构、环境的变化都可能与 EWIS 产生交互影响。

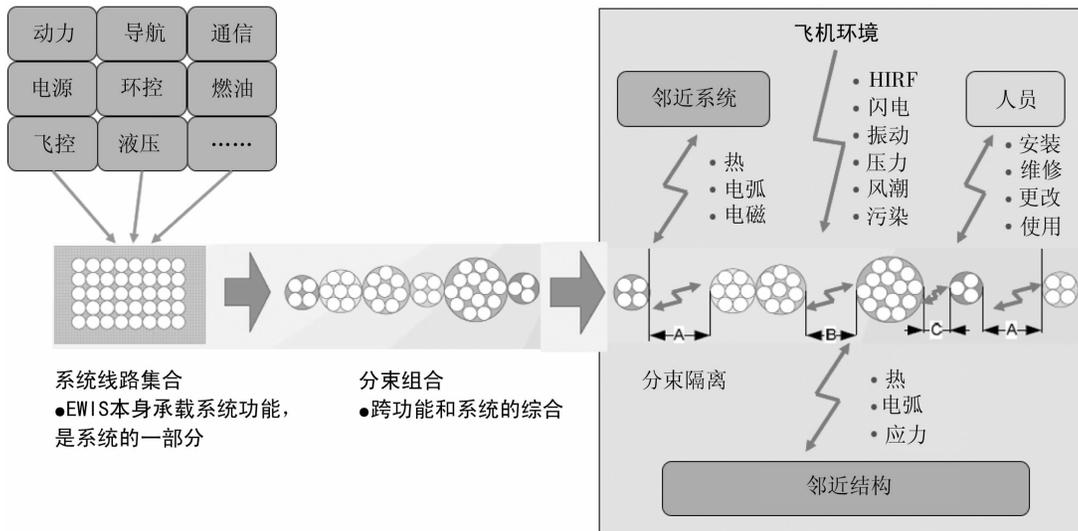


图 1 EWIS 与飞机系统、结构和环境的关系

2)EWIS 设计数据类型多样且相互关联。EWIS 主要型号数据包括需求文档、电原理图、线路图、线束组件图、线束安装图等,涉及上千条需求、上万个信号,几万根导线,几百个线束,需管理的单架次设

计数据达百万量级,且数据间相互关联,图 2 给出了原理图“信号”和线路图“导线”的扩展信息内容和关联度示例。EWIS 构型管理要确保设计数据的唯一性、一致性、符合性和有效性。

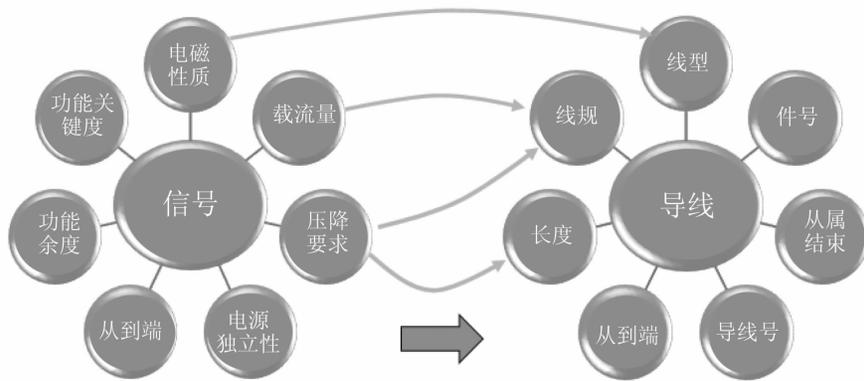


图 2 原理图“信号”和线路图“导线”的扩展信息和关联度示意

3)新技术的发展使得 EWIS 更加复杂,对其要求也更高。为减少排放、提升能源利用效率,多电/全电技术成为当前飞机发展的趋势之一,电能正逐步取代气能和液压能,实现能量线传 (Power-by-Wire, 简称 PBW),如电刹车、电环控、电防冰、电作

动等,EWIS 作为电能传输的物理载体将愈加重要和复杂。同时,为降低飞机重量,提升经济性,复合材料飞机也是当前飞机发展趋势之一,全复合材料机身的使用对于 EWIS 的全机接地回流网、电磁和闪电防护提出了更高的要求。

4)EWIS 研制周期短,是最后集成、最早交付的系统。EWIS 详细设计的开展需要系统和结构具备较高成熟度,同时 EWIS 又需先于系统设备交付、进行机上安装和测试,并用于各系统设备鉴定试验。此外,飞机系统集成度越来越高,采用综合航电和分布式配电系统,系统设计迭代期加长,EWIS 研制周期被压缩,如图 3 所示。因此,EWIS 构型管理需统筹好研制进度和构型受控之间的关系。

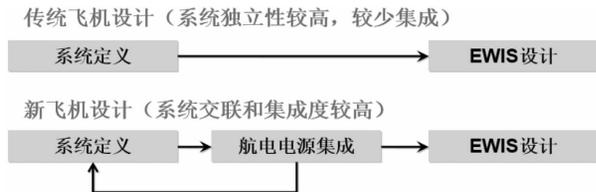


图 3 传统飞机和新飞机系统

2 EWIS 构型类别和内容

EWIS 构型管理的对象和内容可以分别从研制阶段(时间维度)和范围(功能维度)两个维度去探讨。

2.1 时间维度的 EWIS 构型

在时间维度上,可采用国际标准通用的“构型基线”概念对 EWIS 构型进行划分。构型基线是在项目研制过程中的某一特定时刻,被正式确认、并被作为今后研制、生产活动基准的技术状态文件。EWIS 研制阶段包括以下四类构型基线,其具体内容和研制阶段里程碑的关系如图 4 所示。

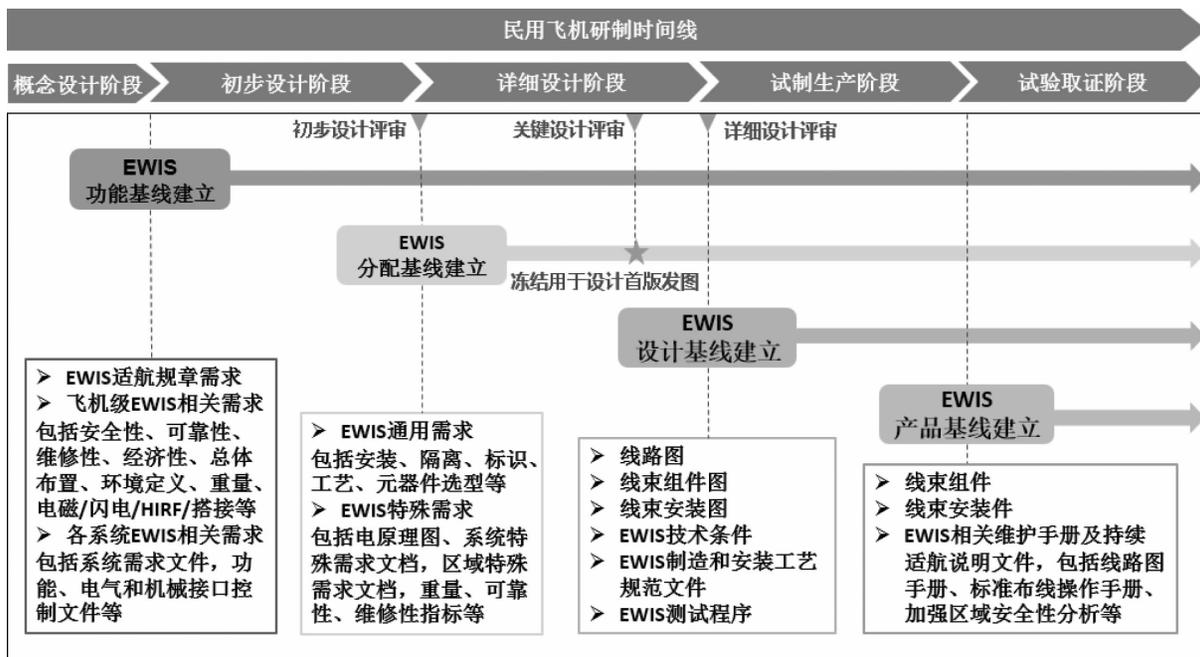


图 4 EWIS 构型基线

1)EWIS 功能基线。源自适航法规、飞机级和各功能系统的需求,是开展 EWIS 研制的输入性或接口性技术状态文件。

2)EWIS 分配基线。由功能基线捕获、分解和确认的 EWIS 系统级需求和性能指标。

3)EWIS 设计基线。用于 EWIS 线束组件制造、安装和测试的图样和文档。

4)EWIS 产品基线。EWIS 物理产品和相关维护手册及持续适航说明文件。

EWIS 构型基线管理的目标是通过建立清晰的

基线和基线间的一致性、符合性,及对偏离和更改的管理,来确保 EWIS 产品符合其功能、性能的要求。

EWIS 构型基线的详细内容应基于以上原则,定义在型号技术文件中,并由相关 EWIS 构型委员会批准发布,属于构型基线的文档图样都要在型号构型管理平台上纳入构型管理。各阶段设计评审的一个重要目标就是要确认构型基线的完整、准确和有效性。

2.2 功能维度的 EWIS 构型

在 EWIS 研制阶段,由于存在各系统、结构设计的更改和优化,试飞功能架次安排及改装、设计和

制造的偏离、进度节点等诸多因素,会造成 EWIS 产生较多的功能构型,相关关系如图 5 所示。

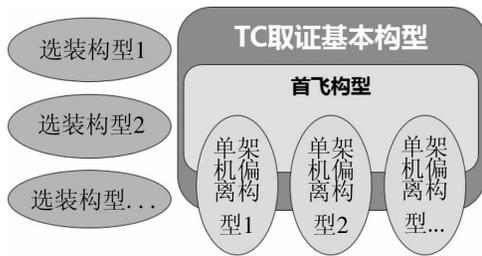


图 5 EWIS 功能构型

1) EWIS TC 取证基本构型。指型号合格证 (TC) 取证所关联的 EWIS 基本构型 (必装项 + 必选其一的标准配置项)。

2) EWIS 首飞构型。指为满足首飞功能需求的 EWIS 构型。

3) EWIS 单架机偏离构型。指由于研制阶段单架机结构、系统的特殊性,设计及制造偏离,或试飞改装而引起的 EWIS 在某单架机上特有的构型。

4) EWIS 选装构型。指 TC 或补充 TC (STC) 取证所关联的由于系统选装项产生的 EWIS 选装构型。其中根据选项特征的不同,又可详细分为:“必选其一非标准配置项”(如座舱布局)、“可选项”(如卫通系统)、“可选其一”(如机载娱乐系统)、“可选一个或多个”(如视频监控系统)等。

2.3 两个维度的 EWIS 构型关系

时间维度上的 EWIS 构型是一个“主动”的管理过程,其目标是通过建立清晰的构型基线和基线间的一致性、符合性,及对基线偏离和更改的管理,来确保 EWIS 产品符合其功能、性能的要求。

功能维度上的 EWIS 构型是“被动”产生的不同构型基线状态,要在飞机 TC 取证构型状态的基础上,去适应研制阶段飞机由于更改、优化、测试、偏离、进度等因素产生的基线状态差异。

3 EWIS 构型管理策略建议

3.1 EWIS 构型基线的管理

EWIS 构型基线的建立需遵循 ARP4754 的确认和验证(双 V)流程,通过确认过程,确认 EWIS 功能基线到分配基线的需求定义具有完整性、正确性、清晰性、可验证性等,从而建立 EWIS 需求与适航规章及飞机功能、性能、使用等需求的链接与追溯关系。通过验证过程,采用合适的符合性方法验证 EWIS 设

计和产品基线对 EWIS 分配基线的符合性。

同时,对于 EWIS 构型基线的管理需注意以下几点:

1) 功能基线中的部分飞机级需求间本身存在着制衡关系,比如电磁兼容和重量,EWIS 需积极参与这些需求的评估和权衡,以期所确认的需求使得 EWIS 的设计即使在某个专业角度不是最优,但在全机角度最优。

2) EWIS 也应提出飞机级需求(如总体布置,设备电接口器件、数据总线等),并纳入对其他系统、结构的功能基线中。

3) EWIS 分配基线应尽量采用数据结构化的需求表达方式和工具,便于有效信息的获取和验证。

4) 由于“电原理图”的专业性、关键性及其数据结构的复杂性,不建议将电原理图作为 EWIS 功能基线由各系统负责,应将其作为 EWIS 分配基线由 EWIS 系统统一建立和维护。

5) 要建立便利的方式来记录和允许查询 EWIS 产品基线状态,便于研发部门及时清晰了解产品生产进度、与设计基线偏离情况等实际制造状态。

3.2 EWIS 功能构型的管理

研制阶段飞机 EWIS 的功能构型的确定建议遵循以下四项原则。

1) 基本原则:EWIS 的初始研制(包括各阶段设计评审)应考虑采用 TC 取证基本构型;

2) 增加原则:在基本构型基础上,按不同架次试飞功能要求增加 EWIS 选装构型项;

3) 减少原则:如设计对象技术状态不成熟,试飞也无其功能要求,可从基本构型中暂时删除,后续状态成熟后再行增加;

4) 差异原则:对由更改、测试、偏离等因素所产生的 EWIS 差异发出单架机甚至多架机的偏离构型。

EWIS 功能构型的管理原则如图 6 所示。

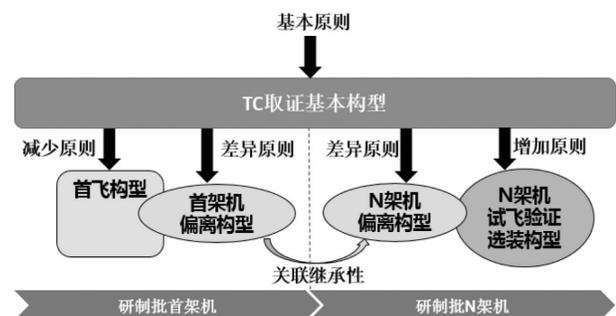


图 6 EWIS 功能构型的管理原则

同时,对于 EWIS 功能构型的管理需注意以下几点:

1)“TC 取证基本构型”是一个逐步迭代完善的过程,可能前期定义的基本构型会转为单架机偏离构型,并在后续机上产生新的基本构型;

2)虽然 EWIS 初始设计发图及评审的对象是基本构型,但在此过程中还是要为未来的选装构型进行提前协调,预留好空间和资源(如分离面连接器,转接模块等),达到良好的可扩展性;

3)对于基本构型中的“必选其一的标准配置项”和选装构型,应尽可能采用独立的新构型项进行设计,以实现选装的小型化和模块化。

3.3 EWIS 构型更改管理

EWIS 构型更改管理是在构型基线及功能构型建立后的主要工作,其应遵循飞机级更改管理的统一策略,同时对于 EWIS 应注意以下几点。

1)应对基线数据进行协调一致的更改,尽量避免跳过前期设计数据(原理图、线路图)而直接修改最终设计数据(线束组件图、线束安装图),如果由于研制进度不得不如此,应做好记录并制订后续数据完善计划。

2)在飞机级应建立可协同工作的且构型受控的全机数字样机(DMU)环境,这对于 EWIS 更改管理的有效性至关重要。

3)要“主动”控制好 EWIS 输入和接口(功能基线)的变更,积极参与这些 EWIS 设计输入源头的更改影响评估,并掌握好后续实施变更的批次节奏。

4)对于影响较小的,不影响其他系统和结构的 EWIS 更改(如分叉长度、标识、屏蔽端接方式等),不建议为其创建新的构型项,应允许采用在原有构型项基础上添加偏离说明的方式处理。

5)为减少设计偏离,在 EWIS 分配基线阶段应尽量避免一刀切式的需求,应根据飞机实际情况制订多样的、相适应的需求。

6)EWIS 设计越来越依赖自动化程度较高的专业设计软件工具,在使用过程中应控制好信息的稳定性,不要造成无意义的更改,比如线缆更改前后长度差 0.001m。

7)鉴于 EWIS 更改频繁,其构型项关联度较高,为提高设计更改效率,建议按不同更改影响建立不同级别的 EWIS 构型管理委员会,如将不影响外部接口的 EWIS 更改局限在 EWIS 专业内完成审批闭环。

8)国内普遍将 EWIS 设计基线中的更改描述作为 EWIS 产品基线更改的直接正式输入,建议采用软件工具完成数据结构化的 EWIS 设计更改描述,以确保更改描述和原数据的一致性,降低工作量。而且结构化、类别化的更改描述便于设计部门判断更改的影响,以决定是否可以在制造阶段部分执行更改,也便于制造部门判断更改执行难易度,以决定是否在线束工厂还是总装线上执行更改,从而确保 EWIS 研制更好地适应项目进度需求。

EWIS 设计更改主要类别如图 7 所示。



图 7 EWIS 设计更改主要类别示意

3.4 EWIS 线束组件构型管理

EWIS 线束组件是 EWIS 的最终核心产品,也是 EWIS 构型管理的关键点。线束组件构型项数据包括两部分信息:源自数字样机(DMU)的物理信息和源自线路图的功能信息。

良好的 EWIS 的 DMU 设计组织模式是基于飞机划定区域的线束安装设计,而不是基于线束组件进行设计。因此线束组件构型项应是线束安装设计构型项(物理信息部分)和线路图构型项(功能信息部分)在不同视图下的数据重构,如图 8 所示。

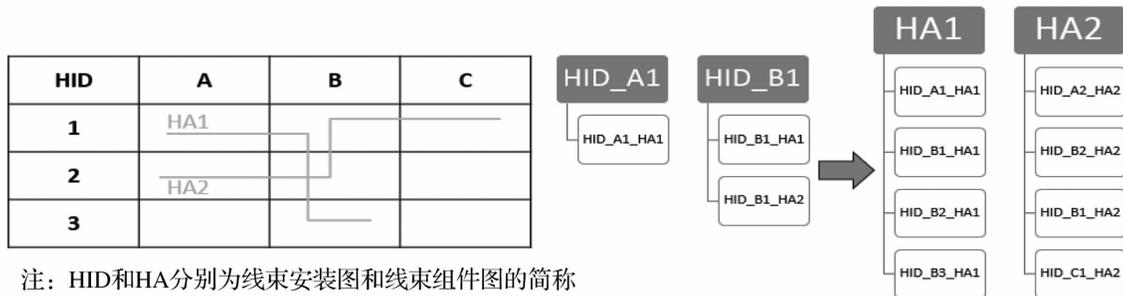


图 8 EWIS 线束安装图和线束组件图的构型项关系

这种模式的好处是保证了设计数据的唯一性、一致性,但也带来了不同构型项间存在较高耦合度的问题,一个线束组件图的发布需要提前冻结所有相关联的线束安装图和线路图,如果发生频繁更改将会影响到研制进度。

4 结论

民用飞机的发展趋势决定了 EWIS 系统将愈加重要和复杂,在型号研制阶段 EWIS 将面临各种压

力与挑战,EWIS 的构型管理工作将贯穿于 EWIS 整个研制周期,并直接影响质量、适航与进度。

EWIS 的构型管理需在时间维度上明晰各构型基线内容和关系,在功能维度上明晰各构型基线状态。管理策略上应在遵循飞机级构型管理策略的基础上,结合 EWIS 研制的特点,制定针对性甚至特殊性的具体实施方法,在保证研制进度的前提下避免陷入构型“失控”状态。本文提供的一些构型管理策略,对于民用飞机 EWIS 研制具有实际指导意义。

(上接第 55 页)

对于采用对称翼型的垂直尾翼,使用半径扫掠法,翼尖修形结果如图 8 所示。沿翼尖弦线均匀取截面线,可以看出翼尖截面处处为圆弧形,且修形面与主翼面切矢连续。

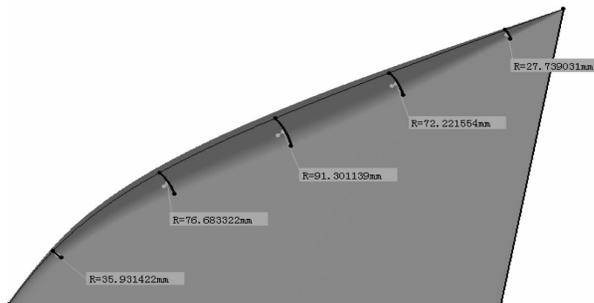


图 8 半径扫掠法应用实例

对于采用非对称翼型的水平尾翼,使用双切法,翼尖修形结果如图 9 所示,可以看出修形后翼尖靠近前缘附近位置存在黑线,说明该处切矢不连续,其余位置均已做到切矢连续,且翼尖截面处为圆弧形。

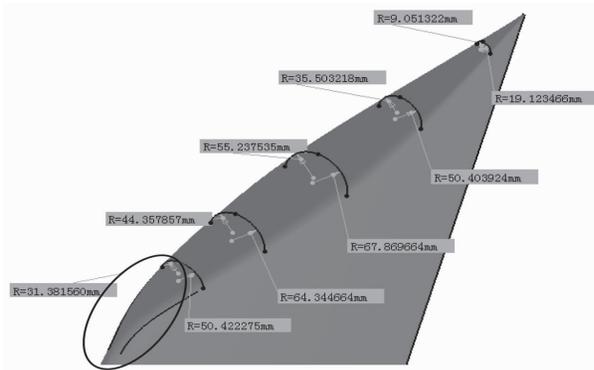


图 9 双切法应用实例

对于前缘附近切矢不连续曲面,对其局部裁切并做光滑修补处理,处理后的曲面已做的全部切矢连续,如图 10 所示。

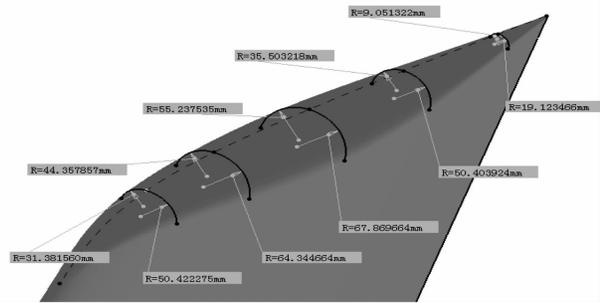


图 10 局部光滑处理

6 结论

本文对翼尖截面形状进行了研究,分析并总结出两种圆弧形截面的翼尖几何修形方法,并得出以下几点结论:

- 1) 圆弧截面翼尖在设计唯一性、制造及制造符合性检测便利性方面均有一定优势;
- 2) 半径扫掠法可以做到曲面完全切矢连续,但仅适用于对称翼型的翼曲面翼尖修形;
- 3) 双切法适用于任何翼型的翼曲面翼尖修形,但翼尖修形曲面与翼曲面之间切矢连续性存在局部性偏差,工程应用时应考虑此偏差是否可忽略,否则需进行局部光滑处理;
- 4) 为弥补半径扫掠法和双切法的不足,后续应进一步研究翼曲面的参数化表达,并通过软件二次开发来实现圆弧截面翼尖修形。

参考文献:

- [1] 傅建明. 低阻翼尖优化设计研究[J]. 民用飞机设计与研究, 1997, 2.
- [2] 程不时主编. 飞机设计手册第 5 册: 民用飞机总体设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.