

# 民用飞机设备和管线路设计优化工具的研究

张振伟 腾杨刚\* 吴 洋 东益冲

(上海飞机设计研究院,上海 201210)

**摘要:**为了解决飞机研发过程中,管线路及设备设计自动化程度低的问题。基于 CATIA V5 进行二次开发,使用 API 接口和 VB 语言实现相关工具的搭建,并主要在以下几个方面开展研究:一是在飞机初步设计阶段进行设备的快速布置;二是基于电气设备及周围零部件的空间布置,进行单一 DMU 管线路通道拓扑,通过 EWIS 隔离代码定义,规划线束通道的类型,自动分析通道之间的物理隔离距离,并依据 EWIS 隔离要求规范与自动分析的物理隔离距离进行分析,从而输出全机管线路通道之间的间隙检查结果及分析报告,为后续的通道拓扑优化提供相应的接口及设计规范;三是进行主通道及分支通道拓扑,通过定义通道的直径、通道内布置线缆的规格及不同形式布线的概率,开发工具自动计算 EWIS 线缆的总长度,并由公式快速计算出该线缆敷设方案的重量,供全机设计时参考。

**关键词:**CATIA 二次开发;V5 Automation;初步优化设计;间隙检查;线缆重量计算

中图分类号: V242

文献标识码: A

OSID: 

## 0 引言

飞机管线路及其设备的布置设计工作,是飞机系统设计的重要组成部分。以往管线路及其设备的布置设计都在飞机设计后期开展,这意味着管线路和设备的布置方案,会因其它设计如结构的更改导致管线、设备布置设计的一系列的更改,且设备的更改也会产生其它设计的更改,扩大整个产品的研发周期。通过对飞机管线路和设备布置拓扑优化方法进行研究,在飞机设计初期就开展管线路、设备等布置设计。分析管线路设计与其它设计信息的交互,实现与其它系统设计有效的沟通协调,提高系统设计之间的信息传递效率,并针对设备布局开发相应的配套工具,可以提升管线设计及布局的效率。

基于 CATIA 二次开发出的设计优化工具,可以提高设计效率,减少设计人员繁琐的重复工作。国内外研究人员基于 CATIA 提供的开发接口,搭建出多种快速设计工具,如 GUAN Peng 等<sup>[1]</sup>通过 VB6.0 进行 CATIA 二次开发,使用特殊参数设计扭转叶

片,并通过二次开发程序实现叶片参数生成和特定叶片的三维参数。彭欢<sup>[2]</sup>基于 V5 Automation 进行 CATIA 二次开发,实现在所选安装面上,螺钉的智能化自动装配。李斌<sup>[3]</sup>使用 Visual Basic 设计交互界面,并使用宏录制等实现 CATIA 二次开发,满足模具参数化设计及模具零件的快速调用要求。周建斌<sup>[4]</sup>基于 CATIA 二次开发研究出的飞机零件质量参数提取工具,大幅减少了设计人员的工作量,提高了质量特征数据的批量提取速度及准确性。蒋辉等<sup>[5]</sup>使用 Automation API 进行 CATIA 二次开发,实现了燃油箱的自动分割和寻优计算,并得到了飞行器在各飞行状态下的燃油箱重心。WANG Wei 等<sup>[6]</sup>提出基于 CATIA 二次开发的线缆敷设路径规划方法,并在某型航空产品验证了该方法的可操作性,解决了传统线缆敷设方法的缺陷。张越<sup>[7]</sup>对非标准零件进行参数化设计并进行有限元分析,通过 CATIA 的二次开发实现非标零件的设计管理,有效缩短了零件的研发周期。王庆男等<sup>[8]</sup>使用 CAA V5 框架,创建齿轮基本参数交互界面,并利用二次开发

\* 通信作者. E-mail: hawk\_teng@163.com

引用格式: 张振伟,腾杨刚,吴洋,等. 民用飞机设备和管线路设计优化工具的研究[J]. 民用飞机设计与研究,2020(4):22-29.

29. ZHANG Z W, TENG Y G, WU Y, et al. Research on design optimization tool for civil aircraft equipment and pipeline[J]. Civil Aircraft Design and Research,2020(4):22-29(in Chinese).

工具实现二维工程图的智能生成,提高了斜齿圆柱齿轮的设计效率。YANG Honggang 等<sup>[9]</sup>使用 VB 二次开发的工具,实现了参数化设计曲轴及曲柄形状的自动生成,减少了设计人员的重复操作。

本文使用 V5 Automation 对 CATIA 进行二次开发,并生成设备快速布置、管线路与主通道空间模型测量审查和线缆重量快速统计等工具模块。实现飞机早期的管线路及设备布置设计,为设计人员快速提供直观的参考数据,减少了后期的设计更改,节约成本,缩短研发周期,提升设计核心竞争力。

## 1 V5 Automation 的关键技术

### 1.1 CATIA 二次开发接口

二次开发就是将 CATIA 用户化、本地化的过程,CATIA 提供了四种开发方式,具体如下:

1) Knowledge Ware 是一种面向目标的、可高效重用的客户化方式,Knowledge Ware 和 V5 的紧密结合可以提升知识库规则及求解的处理能力;

2) Interactive User Defined Feature 为编制式的开发方式,创建交互式的用户定义特征并保存在 CAT Part 文档中,供客户交互使用;

3) Automation API,支持 VB、Python 等语言。简单易用,可通过 VB Script 或 JavaScript 来录制宏并生成代码,并具有与 OLE 兼容的平台通讯能力;

4) CAA ( Component Application Architecture ) 使用 C ++ 或 Java 应用接口,交互功能强大。但是需要购买单独的 CAA 模块且开发难度比较大。

因 Automation API 具有支持多种开发语言,且全部 API 都封装为对象驱动模式等优势,本文使用 Automation 对 CATIA 进行二次开发。

### 1.2 V5 Automation 进行 CATIA 二次开发

在 V5 Automation 模块中,数据均以对象的形式呈现<sup>[2]</sup>,且生成结构树。Automation 通过对象的方法和属性获取并处理数据。

在图 1 中,Application 是根对象,它包括 Windows 和 Documents,通过 Application 可访问其他所有对象,即通过 Documents、Windows 等可以实现 CATIA 全部对象的访问。其中,Documents 是 CATIA 目前全部文档操作的集合,包括单个零件、产品、部件、图纸、分析、功能、工艺、库等主要文档类型。Document Selection 是用来获取文档的选择对象,并可以对其进行增、删、改等操作。Workbench

是 CATIA 完成某类功能或者模块的集合。SettingControllers 由 ioAdminLevel 和 ioLocked 组成,返回一个 CATIA 系统设置的集合。Windows 是 CATIA 当前可以进行操作窗口的集合,可用 n = CATIA. Windows. Count 代码获取当前窗口个数。FileSystem 是被用来创建和管理的文件系统,如用 CATIA. FileSystem. Temporary Directory. Path 返回临时目录地址。

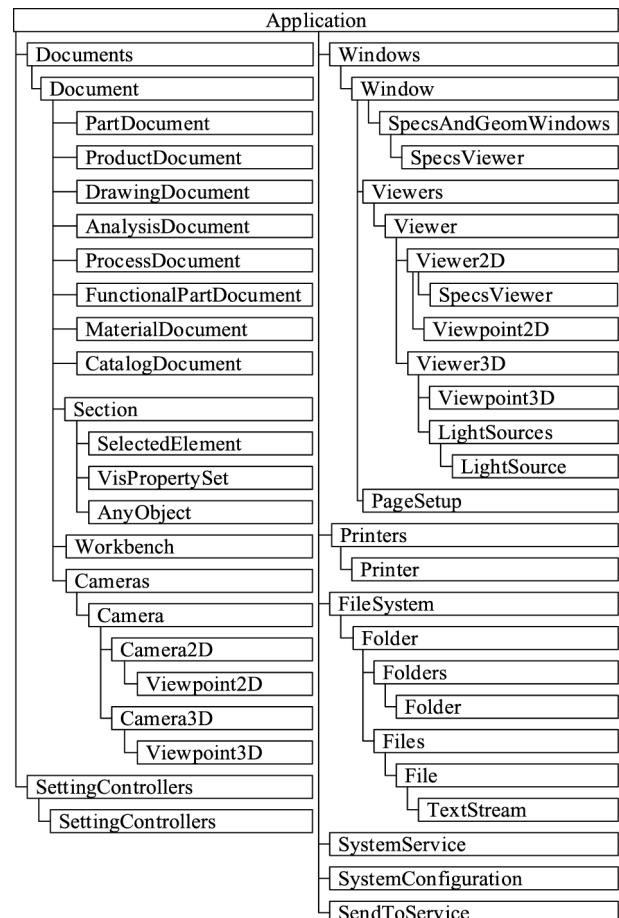


图 1 Application 对象结构

## 2 拓扑优化工具开发流程

针对飞机管线路及设备布置设计提供基于研发阶段的工具,有效提高管线路及设备布置的效率和质量,实现与其它系统设计之间的数据交互,系统具体交互流程见图 2。拓扑优化工具开发基于 CATIA V5 平台,在飞机设计初期使用 CATIA 开展空间布局设计,以飞机设计需要的设备以及已有的设备信息,管线路布置使用的连接器、接线端子、卡箍、线缆支架以及线缆规格等作为输入后,能够快速完成全

机管线路设备的布置及优化的工作并逐步细化设备和相应的通道信息。从而提高飞机管线路系统设计与其它系统的信息交互效率和飞机整体设计能力。

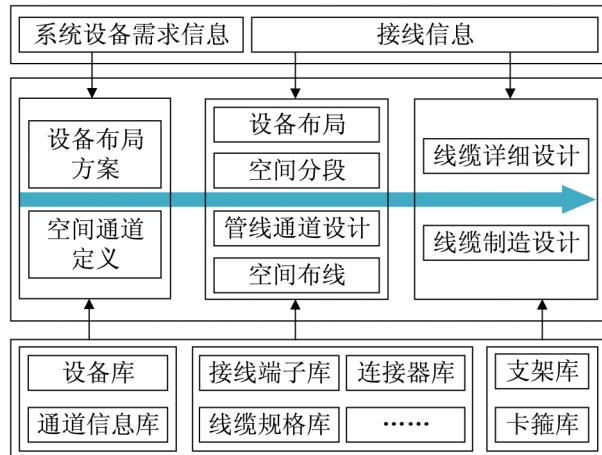


图2 设备及管线路优化设计总体流程

管线路及设备布置拓扑优化工具主要包含以下工具：

1. 设备总体布置拓扑优化工具：能够根据飞机几何外形、部段划分、所属区域、系统设备的位置及 EWIS 线缆通道的分布，迭代计算出设备调整的多方案结果。该结果结合线缆敷设工具直观的显示线缆敷设路径，辅助设计人员快速构建飞机分段模型，并实现设计参数快速变更及多方案切换；

2. 管线路与空间模型协同测量审查工具：可以自动分析并输出全机管线路及设备与周围零部件的隔离间隙检查结果；

3. 线缆长度及重量快速统计工具:通过分析设备信息、线缆总长度及所属规格、线缆分段处的接头重量等数据,快速统计出当前线缆敷设方案的长度及总重量。

如图 3 所示,在确定开发功能后,先在产品的建模过程中,对目标零件的特征进行分析。然后提取零件模型的特征参数,将一部分尺寸参数与约束集合进行关联,利用尺寸驱动方法更改几何模型。对管线路和设备的配合关系、运动关系、连接关系、位置关系等进行约束并指定他们的关系,使各分部件按约束组合在一起。

最后，在确认完成所需的开发功能及代码运行正确后，使用本文开发的优化工具进行飞机管线路

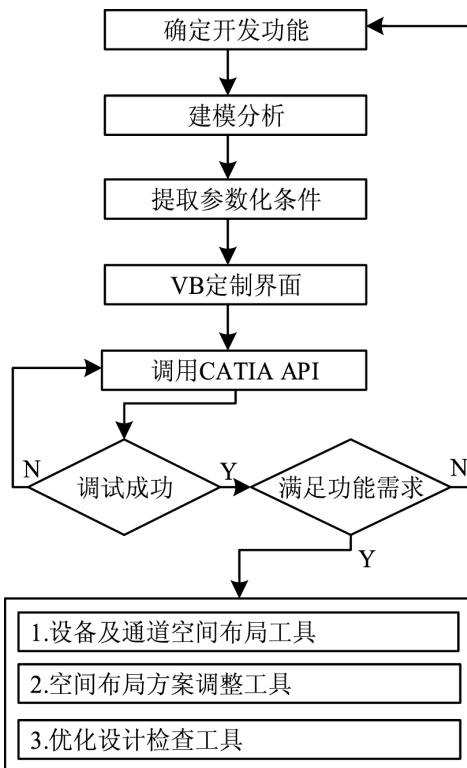


图 3 管线路及设备布置优化工具开发流程

及设备布置设计、间隙检查、线缆长度计算及重量统计等。

3 应用

### 3.1 完成空间布局设计

在飞机设计初期考虑设备空间布局,需参考结构模型进行空间定义和设备位置规划,然后将设备布局信息作为参考提供给结构、系统等专业进行评估,从而获得更好的总体设计效果。管线路设计依托于结构和设备,但又是独立的系统,自成体系。因此,在系统设备布局设计中,首先根据功能要求参考结构模型进行空间定义,对设备大致位置进行规划,定义相应的连接通道。在结构设计开展到一定阶段后,需完成对设备及管线路通道的接口定义工作。如图 4 所示,在飞机的结构空间中进行相关设备空间占位定义,并进行连接通道的定义。在完成基本设备布局与通道定义后,就可以将这些信息输出给相关专业进行评估,并在之后的 CATIA 设计中,直接获取设备的相关信息。根据这些信息从设备库中调用并进行设备的空间布置,再根据设备布置结果进行管线的通道定义。

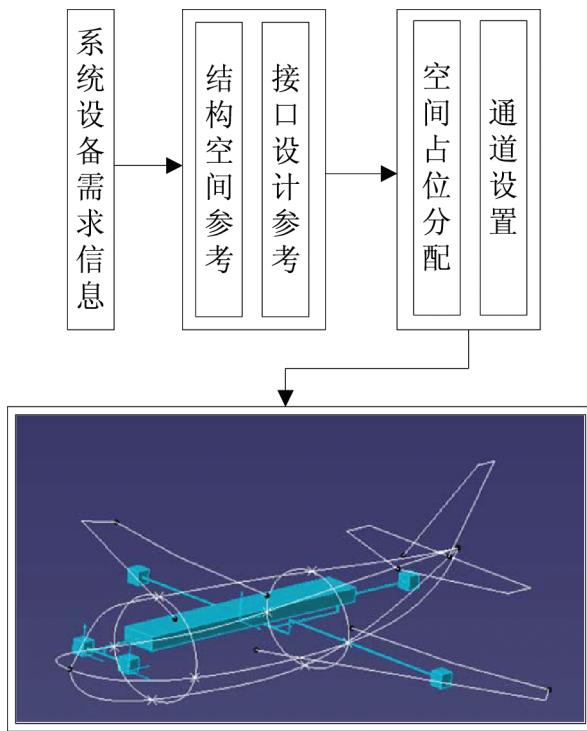


图4 设备和通道占位示意图

如图5所示,为防止液体泄漏,滴落在EWIS线缆上,将供水、废水、液压和空调管路等布置在EWIS下方或一侧,在机翼和平尾的设计中,本文亦将EWIS通道布置在液压管路上方。

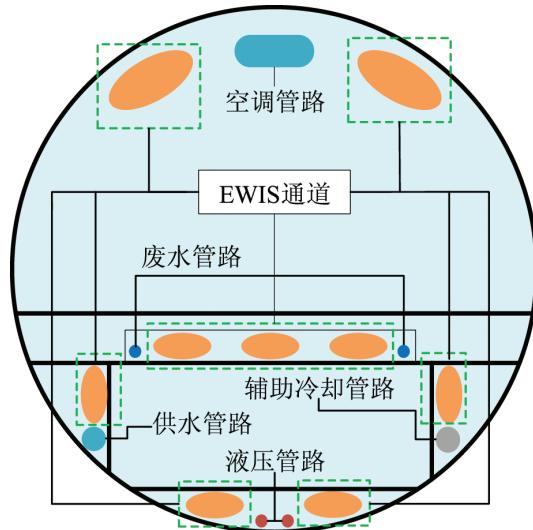


图5 机身主要管路布置示意图

民用飞机EWIS系统空间分配样机根据飞机的部段进行主通道的规划,通过CATIA模块构建现有的SAM(Space Allocation Model)A成熟度的主通道,并依据飞机的部段划分对主通道进行拓扑优化,

完成主要电气设备布置、主通道定义、部段边界划分及结构的初步确定。SAM A成熟度的主通道如图6所示,颗粒度相对较粗,无法体现全机主通道的布置及实现EWIS线缆路径规划与布置的协同迭代。

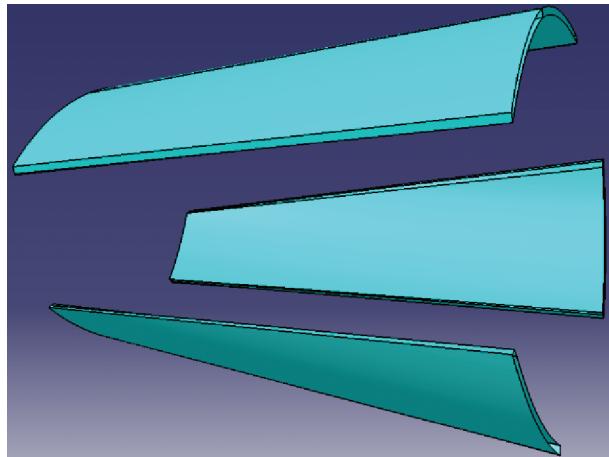


图6 后机身SAM A成熟度主通道示意图

将飞机部段分为:机头、前机身、中机身、后机身、机翼、水平尾翼、垂直尾翼等,由于飞机多个部段的划分造成主通道的分段,需要在每个部段的同一主通道进行分段属性的定义。本方案的主通道由CATIA V5 Electrical Harness Assembly创建,其中每一个通道对应一个Branchable,需要对相应的Branchable进行属性的定义,主通道区域属性定义的原则包含以下几点:

- 1) 属性名称为Channel\_Area,值为Top或者Down,名称和值字母必须大写,不满足以上要求表

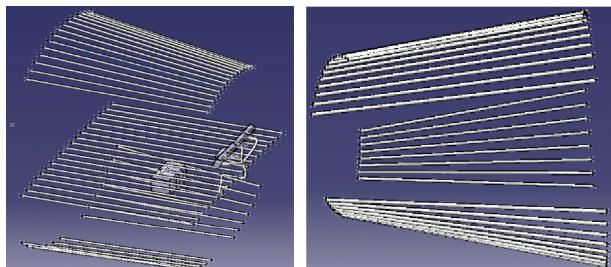
零件编号	MainChannel_261
版本	
定义	
术语	
源	未知
描述	
产品: 已添加的属性	
Channel_Area	Top
IPS_Code	1P
Routing_Code	EFC
EMC_Code	A
Function_Code	24-F01
Redundancy_Code	A

图7 隔离代码属性定义

示属性没有定义,不做测量审查;

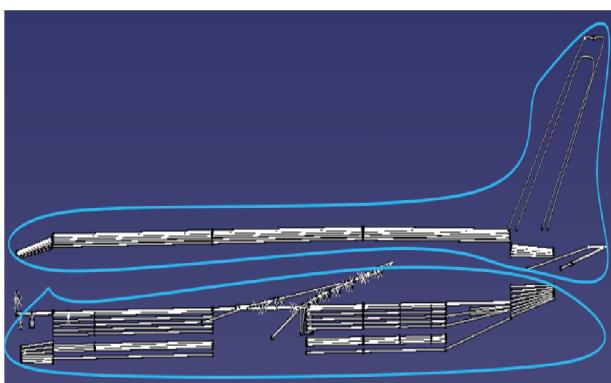
2) 属性值同为 Top 或者同为 Down 的进行测量检查,值为 Top 和 Down 的不进行测量审查。

在完成如图 8 所示的 SAM B 成熟度建模后,输出包含接口、边界、直径、重量等数据的空间分配模型,依据区域的划分进行现阶段主通道拓扑进行区域属性的定义,将全机通道划分为 Top 和 Down 两个区域,具体如图 8(c)所示。



(a) SAM B 机头主通道

(b) SAM B 后机身主通道



(c) Top-Down 主通道划分

图 8 全机主通道建模及划分

完成设备的空间布局、位置、接口定义、所属管线路的分段后,可以将空间通道细化为实际的连接零件对象等,并结合详细接线信息,将设备和连接器等信息与原理图进行匹配,开展多方案布局设计和管线路初步设计。

### 3.2 完成多方案布局设计

如图 9 所示,完成设备空间布置后,可以进一步开展管线路设计,提供多种方案供设计参考。管线路及设备在一定范围的设计,其布局有多种可行方案。设备位置的微调,设备安装方向的改变等都可能对飞机整体性能产生影响。手动调整难度较大,且在需要调整的对象数量较大时,难以获得预期效果。在 CATIA 中利用设备占位以及设备的物理属性,设定分析的目标后,通过调整设备的位置改变相

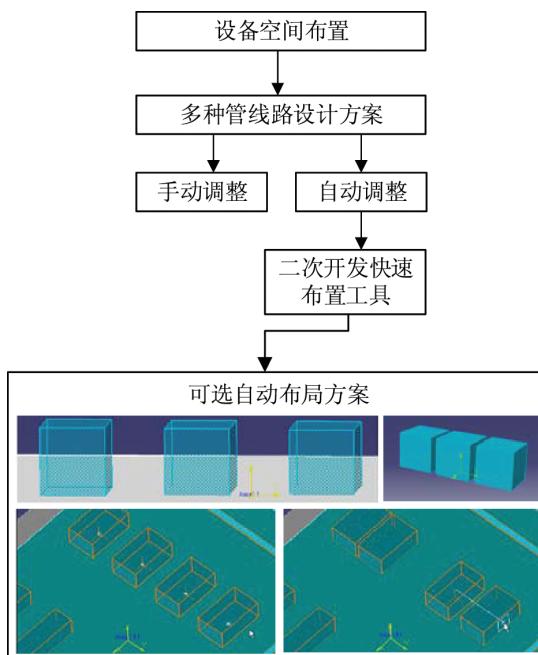


图 9 自动布局方案工具

关参数,根据设备的空间距离及物理属性自动计算出多种方案,供设计择优选用。

通过 CATIA 二次开发实现设备位置或方位调整,在布局方式产生变化时自动计算方案是否满足要求,从而得到合适的布局方案。

### 3.3 初步优化设计

在获得比较优化的布局后,可以进入管线路及设备布局的优化设计阶段。如图 10 所示,将设备空

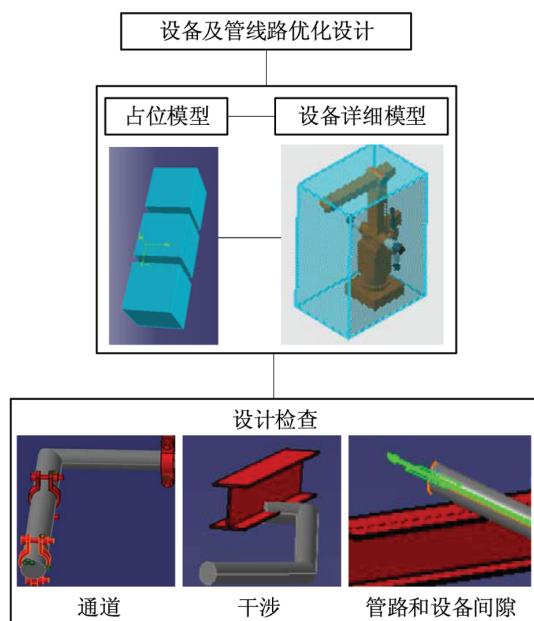


图 10 全局优化设计工具

间占位模型替换为设备详细模型,可获得更准确的空间位置与物理信息,并再次进行设备的调整优化及信息交换,从全局上优化飞机的管线路及设备布置设计。对管线路通道进行细化设计,确保通道和实际产品的接口一致,对管线路的支撑、支架等进行检查,确保设备的连接可靠。使用二次开发工具实现管线路与周围零件的干涉和间隙检查,供设计人员进一步审查优化。

在优化设计时根据飞机的划分进行管线路对象的分割,并自动进行产品对象的数据组织,同时保留接口信息,以确保后续详细设计时通道接口信息可以指导管线路的详细设计。

### 3.4 管线路间隙检查工具

在 CATIA 中利用二次开发结合应用 Raceway 和 Conduit 模块,如图 11 所示,将管线路通道生成线缆通道路径 Run, 定义线缆通道的类型,如主通道、分支通道。通过定义 Run 上的节点来获取该点的通道信息,如通道该节点处的线缆类型、区域信息、线缆承重要求等;节点区域信息可为后期线缆通道布图出图,为线缆清册报表提供数据输入。



图 11 通道布线功能

主通道隔离代码属性定义完成后,用户点击测量审查命令,打开 XML 文件,调整并确认文件中的通道间隙数据是否与本次检查要求一致。确认一致后,点击间隙检查工具时,弹出如图 12 所示的选择

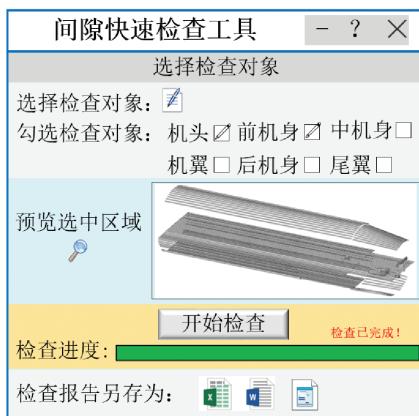


图 12 间隙检查对话框

分析弹框,用户可在 CATIA 的结构树或数模里选择需要计算分析的对象,也可以直接勾选机头、前机身、机翼、中机身、后机身、尾翼等部段,然后点击开始检查,进度条会显示检查进度。检查完成后,用户可以将间隙检查结果另存为 Excel、Word 等文件。另存为 Excel 文件的检查结果如表 1 所示。

表 1 另存为 Excel 文件的检查结果

检查通道名称	其余通道名称	隔离要求/mm	实际距离/mm	检查结果
Top001 主通道	Top通道002	95	150	符合隔离要求
	Top通道003	95	90	不符合隔离要求
	Top通道004	95	150	符合隔离要求
	Top通道005	95	150	符合隔离要求
	.....			
Top002 通道	Top通道003	100	120	符合隔离要求
	Top通道004	100	80	不符合隔离要求
	Top通道005	100	120	符合隔离要求
Top003 主通道	.....			
	Top通道004	150	100	不符合隔离要求
	Top通道005	/	/	无需隔离
.....				

### 3.5 线缆长度及重量计算工具

本方案采用计算通道重量的方法对线缆的重量进行初步评估。依据通道参数及规格的定义来进行计算。计算方法如公式 1 所示:

$$M = S \times \rho \times L \times (0.8 + 2 \times 0.2) \quad (1)$$

其中:

$M$ : 表示计算的线缆总重量,单位 kg;

$S$ : 表示通道的截面积;

$\rho$ : 表示线缆的线密度;

$L$ : 表示通道的总长度,包含主通道和分支通道的长度,单位 km;

0.8: 表示通道中单线布线的概率为 80%;

0.2: 表示通道中双线布线的概率为 20%。

如图 13 所示,在对管线路进行主通道及分支通道的拓扑后,开始进行通道直径、飞机线缆布线的所

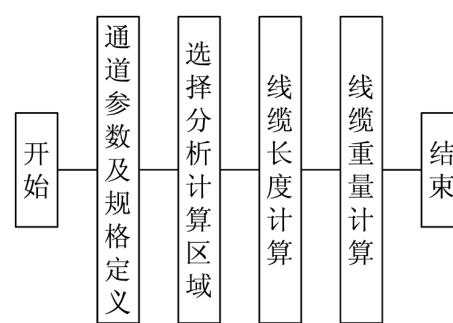


图 13 线缆长度和重量计算流程

属规格及现有机型线缆的使用比率的定义。基于开发工具自动获取线缆的总长度，并依据通道所属属性获取质量，从而快速统计出每种线缆敷设方案的总重量，得出 EWIS 重量的初步估算。

如图 14 所示，可以在 CATIA 的结构树或数模里选择需要计算分析的对象，也可以直接勾选单个或多个部段，然后点击开始计算，进度条会显示计算进度。计算完成后，会在弹框中显示所选分析对象的总长度及总重量，也可单击保存计算结果，将本次计算结果保存在文档中。

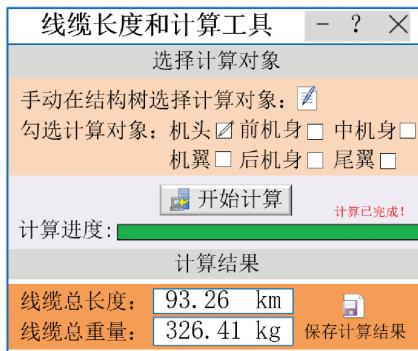


图 14 线缆长度和重量计算结果

## 4 结论

本文对民用飞机初步设计阶段开展研究，优化了主通道及管线路布置设计流程，并使用 V5 Automation 对 CATIA 进行二次开发，分别设计出方案布局、初步优化、EWIS 线缆长度及重量计算等工具，并通过上述工具实现飞机主要设备及管线路通道的快速布置，同时，可实现主通道间隙检查分析、重心统计等。提高管线路与设备布局设计和总体设计之间的沟通效率，并将不同阶段设计信息向后继承使用，为飞机的迭代设计提供解决方案。此外，针对文中使用的线缆密度  $\rho$ ，本文将继续研究现有机型的线缆密度，并在后续将研究使用智能算法进行对管线路自动拓扑优化布线。

### 参考文献：

[ 1 ] GUAN P, DONG J C, WU L G. Secondary Develop-

ment of Blades Parametric Design of Hydraulic Torque Converter Based on CATIA [ J ]. Advanced Materials Research, 2011, 383-390:1055-1061.

- [ 2 ] 彭欢. 基于 V5 Automation 的 CATIA 二次开发技术研究 [ J ]. 电子机械工程, 2012, 28(2):61-64.
- [ 3 ] 李斌. 基于 CATIA 二次开发的注塑模具智能设计系统的研究 [ D ]. 吉林大学, 2016.
- [ 4 ] 周建斌. 基于 CATIA 二次开发的飞机质量特性批量提取方法 [ J ]. 民用飞机设计与研究, 2011(3):48-51;55.
- [ 5 ] 蒋辉, 赵辉, 王庆. 基于 CATIA 二次开发的直升机燃油重心计算及应用 [ J ]. 装备制造技术, 2018(10):18-23.
- [ 6 ] WANG W, ZHANG Q, QIU B, et al. Research on Cable Route Planning Based on Secondary Development of CATIA [ C ]//Proceedings of 2018 2nd International Conference on Energy and Power Engineering. Science and Engineering Research Center, 2018: 204-209.
- [ 7 ] 张越. 基于 VB 对 CATIA 二次开发的非标零件标准化设计研究 [ D ]. 长春理工大学, 2018.
- [ 8 ] 王庆男, 于天龙, 尉巍. CATIA 二次开发在齿轮工程图智能生成上的应用 [ J ]. 机械工程与自动化, 2017(4):73-74;76.
- [ 9 ] YANG H G, WANG S J, XIE Y R. Parametric Design of Crankshaft Based on CATIA Secondary Development Platform [ J ]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 602-605: 287-290.
- [ 10 ] CHEN X, GAO S M, YANG Y D, et al. Multi-level assembly model for top-down design of mechanical products [ J ]. Computer-Aided Design, 2012, 44(10):1033-1048.

### 作者简介

张振伟 男，硕士，高级工程师。主要研究方向：飞机总体布局设计研究。E-mail: zhangzhenwei@ comac. cc

腾杨刚 男，硕士，工程师。主要研究方向：管线路拓扑优化。E-mail: hawk\_teng@ 163. com

吴 洋 男，硕士，高级工程师。主要研究方向：飞机总体布局设计研究。E-mail: wuyang1@ comac. cc

东益冲 男，硕士，工程师。主要研究方向：全机模块化。E-mail: dongyichong@ comac. cc

## Research on design optimization tool for civil aircraft equipment and pipeline

ZHANG Zhenwei TENG Yanggang\* WU Yang DONG Yichong

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of low degree automation in the design of pipelines and equipment during the aircraft development process, the secondary development based on CATIA V5 was carried out, and the related tools were built by using API interface and VB language. And mainly carrying out research in the following aspects. Firstly, the rapid layout of equipment was carried out in the preliminary design stage of the aircraft. Secondly, based on the spatial arrangement of electrical equipment and surrounding parts, a single DMU tube line channel topology was carried out. According to the definition of EWIS isolation code, the type of wiring harness channel was planned, the physical isolation distance between the channels was analyzed automatically. According to the EWIS isolation requirement specification and the automatically analyzed physical isolation distance, the results of clearance inspection and analysis report between the lines and channels of the whole machine were output so as to provide corresponding interfaces and design specifications for subsequent channel topology optimization. Thirdly, the main channel and branch channel topology were carried out. By defining the diameter of the channel, the specifications of the cables arranged in the channel and the probability of different types of wiring, the development tool automatically calculated the total length of the EWIS cables and quickly calculated the weight of the cable laying scheme by the formula, which can be referred for the whole aircraft design.

**Keywords:** secondary development of CATIA; V5 Automation; preliminary optimization design; clearance check; cable weight calculation

---

\* Corresponding author. E-mail: hawk\_teng@163.com