

基于 CATIA 二次开发的管网关键信息提取方法

张旭¹ 熊斌² 单单² 朱林峰² 廖桔² 陈果¹

(1. 南京航空航天大学 民航学院, 江苏 南京 211106; 2. 中国航空工业成都飞机设计研究所, 四川 成都 610091)

摘要: 研究了 CATIA 图形文件中的管网信息, 提出了管线信息、连接信息以及支撑信息自动提取的方法。在此基础上, 进行了 CATIA 二次开发并编制了 CATIA 管网系统信息自动提取软件, 软件作为自行开发飞机管道有限元分析软件的模块, 能够实现 CATIA 管道模型的自动导入, 大大降低了有限元建模工作量, 提高自行飞机管道系统振动分析、设计与优化的效率。

关键词: 信息自动提取; 管道网络; 管道连接关系; CATIA 二次开发

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-654X(2020)06-0091-05

Pipeline Network Key Information Extraction Method Based on Secondary Development of CATIA

ZHANG Xu¹, XIONG Bin², SHAN Dan², ZHU Lin-feng², LIAO Ju², CHEN Guo¹

(1. College of Civil Aviation, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China;
2. Chengdu Aircraft Design and Research Institute, Chengdu 610091, China)

Abstract: This paper studies the pipe network information in the CATIA graphics file, and proposes a method to automatically extract pipeline information, connection information and supporting information. On this basis, CATIA secondary development was carried out and CATIA pipe network system information automatic extraction software was compiled. As a self-developed aircraft pipeline finite element analysis software module, the software can realize the automatic import of CATIA pipeline model, greatly reducing the limit Meta-modeling workload to increase the efficiency of vibration analysis, design and optimization of self-propelled aircraft piping systems.

Key words: automatic information extraction; pipeline network; pipeline connection relationship; CATIA secondary development

引言

在管道网络设计与优化过程中, 实现管道网络的自动导入是需要首先解决的问题。由于计算机辅助设计模型(Computer Aided Design, CAD)和有限元仿真模型(Computer Aided Engineering, CAE)并不相同, 需要利用现有的 CAD 模型, 提取有用信息转换为 CAE 模型。对管路系统进行坐标数据采集, 得到表面几何数据, 然后对这些数据进行简化、预处理, 反求出管路 CAD 模型^[1]。GE 公司使用 ICDS(Interactive Configuration Design System)系统软件开发了发动机管路系统。Lee 等^[2]提出弯曲管道的重建算法获取管道模型信息。Wu 等^[3]利用 VB 实现将 CATIA 管路实体图导入 ANSYS 中进行振动仿真分析。卞刚等^[4]使用 CCA 提取管道系统的拓扑结构。张旭等^[5]提出对管道的无

参数模型提取轴线信息的方法。

飞机管网模型均为 CATIA 文件, 其信息主要包括: 管道的管线内外径信息、各零件间的连接信息和卡箍的支撑信息, 将管路实体图形抽象为管线相互连接成的网, 便于重建管道网络的梁单元有限元模型。管网系统图零件繁杂, 识别关键零件提取有用信息, 使这些工作自动进行需要制定信息提取策略。本文利用组件对象模型(Component Object Model, COM)技术在 VB6.0 中实现对 CATIA 的二次开发以及管网信息提取策略的实现。

1 基本概念

1.1 管道网络文件结构

管道网络系统一般是产品(装配)文件, 由零件文

收稿日期: 2020-07-30 修订日期: 2020-08-31

基金项目: 国家科技重大专项项目资助(2017-IV-0008-0045); 国家自然科学基金项目资助(51675263)

作者简介: 张旭(1995-), 男, 河南焦作人, 硕士研究生, 主要研究方向为飞机结构强度与振动。

件嵌套装配而来,其嵌套关系也体现在其加工和装配顺序中,CATIA 中产品转零件功能可使各个零件均在零件文件的一级结构树中。为操作便利,本文提取管道网络系统信息时,需要将产品文件转化为零件文件再进行后续处理。

图 1 为零件文件的结构树,其中管网的各个零件已转换为 body(几何体),其中无参数的实体中的线和面包含着关键信息。该零件在产品文件结构树中的路径 body 名。body 下的实体为去参数化的零件。例如名为“CB228446A-000-002.1\CB228446A-001-002.1\Double”的 body 实为管道零件,文件转换后管道零件降级为管道 body,以“\”分隔的倒数第二个字符串为管道标识。依据 body 名即可识别管网中各个零件。为不引起混淆,在后文中称零件文件中各“body”为“零件”。

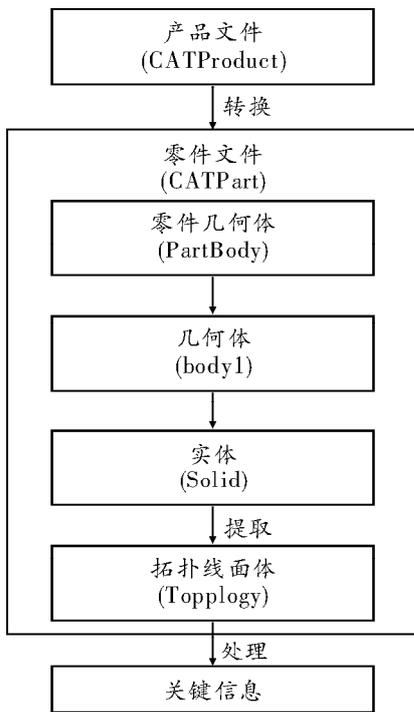


图 1 CATIA 文件结构

1.2 CATIA 二次开发方式

想要实现提取管道网络信息的自动提取,就要实现对 CATIA 软件的二次开发。实现流程化的操作,能够减少繁杂的人工操作。CATIA 二次开发方式主要有 3 种^[6]:

- 1) 通过“录制宏”的操作,记录人工的界面操作,运行宏即可实现一部分自动功能,从而做到对软件的二次开发。该方法最为便捷,但无法实现较复杂的功能。
- 2) 基于 C++ 的快速集成开发环境(Rapid Appli-

cation Development Environment,RADE) 在 C++ 或 Java 编程软件中实现,可操作较底层的程序接口,功能全面,但实现有一定难度。

3) 基于采用组件对象模型 COM 技术把模块接口封装在独立的组件内,通过 VB6.0 编程实现,上手简单,接口库能够满足基本软件开发功能要求。

本文选用第三种方式实现 CATIA 的二次开发。实现信息提取,需要进入信息提取模块并获取线面等拓扑结构。如表 1 所示,给出了从获取应用对象到进入信息提取模块的代码示例^[7]。

表 1 CATIA 二次开发中获取对象的代码示例

对象	代 码
应用对象	Set CATIA = GetObject(,"CATIA.Application")
文件对象 (part 文件)	Set oDocument = CATIA.ActiveDocument Set oPartDoc = CATIA.DocumentsItem("part1")
零件对象 (body 零件)	For Each Body In Part.Bodies
边线对象	Sel.Search "Topology.Edge Sel"
提取模块	Set Wb = Doc.GetWorkbench("SPAWorkbench")

2 管网信息提取策略

2.1 管道信息提取

管道是构成管道网络的主体部分,管道的关键信息由管道中心线和内外径信息组成。这些信息在管道去参数化实体的拓扑线面中,其中拓扑线为管道每一截的内外圆环。提取这些圆环的圆心坐标并处理即可得到管道中心线信息。

管道中心线由多组 3 个管线点 1 个弯管半径组成,图 2 为圆环点(圆环圆心)与关键点关系的示意图,图中仅有一组管线点和弯管半径。提取圆环点后,还需根据几何关系计算管线点和弯管半径 R。

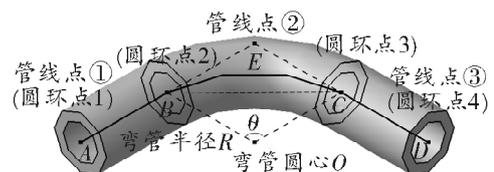


图 2 圆环点和管线点的关系

图中点 ABCD 为圆环点,坐标可直接提取。E 为两端管线点,半径 R 的长度等于线段 OB 的长度,其中点 E 坐标和 R 需要计算。由几何关系可知:

$$\begin{cases} BE = AB \cdot \overline{BE}/AB \\ \overline{BE} = \overline{BC}/\cos(\theta/2) \end{cases} \quad (1)$$

$$R = \overline{OB} = \overline{BC} / 2\sin(\theta/2) \quad (2)$$

式中 $\theta = \langle \overline{AB}, \overline{CD} \rangle$ 与 $\angle O$ 相等,由向量 \overline{BE} 可求得 E 点坐标。

提取所有管道关键信息的流程示意图见图3。

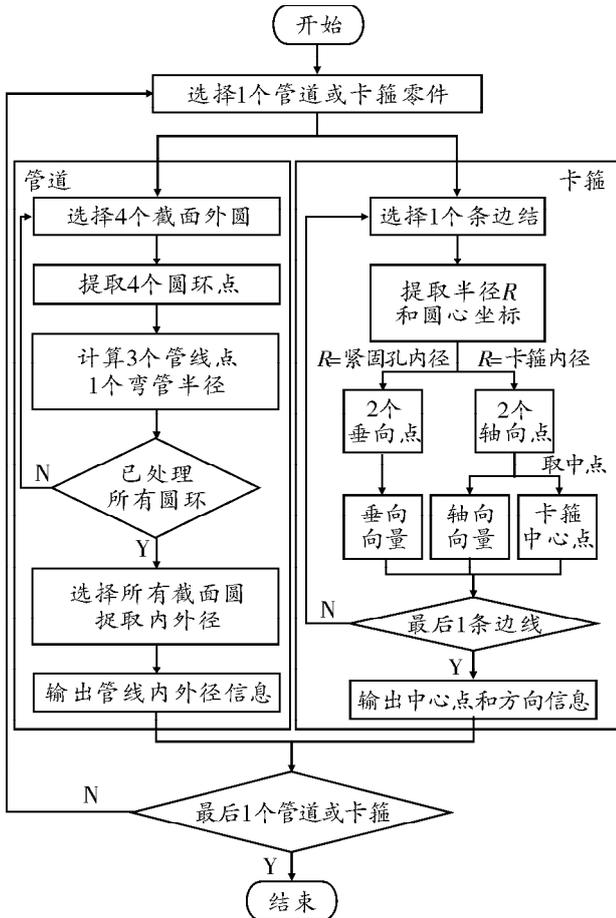


图3 提取管道和卡箍关键信息的流程示意图

2.2 支撑信息提取

管道网络的支持信息,体现在管网有限元模型边界条件设置中。卡箍为非对称几何体,卡箍不同方向的支撑强度不同,所以要提取卡箍的中心点和方向信息。

图4中点 A, B, C, D 分别为两个卡箍内径圆弧圆心和两个紧固孔圆心,这4个点可通过提取对应圆弧

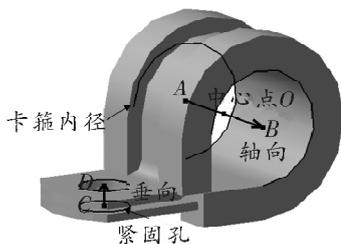


图4 卡箍的方向和中心点信息

的圆心获得,并且提前知道卡箍内径和紧固孔半径。卡箍中心点 O 为线段 AB 的中点。向量 \overline{AB} 为卡箍轴向向量,向量 \overline{CD} 为卡箍垂向向量。卡箍径向向量为 $\overline{AB} \times \overline{CD}$ 。

2.3 连接关系的提取

在管道网络系统图中很多零件起到连接管道或其他零件的作用。考虑到其质量,还需要在提取连接信息时确定其截面半径,确保重建的梁单元模型体积与原零件相同。如图5所示管网各个零件的连接方式共有3大类7种。图中有5根直管(为便于理解选用最简单的直管),1对法兰,3个“L”型管接头,2个焊接管接头。各类连接方式的连接线提取方法不同,下面将做具体分析。

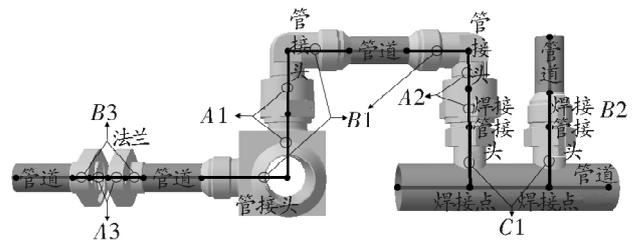


图5 3类7种连接方式的管网例图

2.3.1 连接方式及提取策略

图5中各种连接方式依据处理方式不同分为3大类,各类提取方法见表2。

1) A 类为零件互连。如图5所示包括: $A1$ 管接头-管接头、 $A2$ 管接头-焊接管接头、 $A3$ 法兰-法兰,3种连接方式。每个零件连线的截面半径不一定相同,所以需要生成两根连接线,如表2中拓扑图,新建点为两零件中心连线中点,虚线为连接线。

2) B 类为与管道连接。如图5所示包括: $B1$ 管道-管接头、 $B2$ 管道-焊接管接头、 $B3$ 管道-法兰,3种连接方式。该连接方式为零件与管道的管线连接,连线一段为零件中心点,另一端为与零件最近的管道的点,如表2中拓扑图所示,虚线为连接线,实线为管线。

3) C 类为焊接连接。如图5所示包括: $C1$ 管道-焊接管接头,1种连接方式。该连接方式为焊接管接头与管道管线中的焊接点连接,焊接点为焊接管接头向管线引垂线的垂足,如表2中拓扑图所示,虚线为连接线,实线为管线,焊接点将管线分为了两段。管线实际会有多段,焊接点在哪一段管线,如图6流程图所示需要依据垂足在管线中间并且距离最短,两个判据选择管线。

管网零件连接方式的判断与连接线提取的流程图如图6所示。

表 2 各类连接方式的提取策略

连接方式	分类(实例见图 5)	连接关系提取策略	拓扑抽象
A 零件互连	A1 管接头 - 管接头	取两零件中心连线中点并连接,生成两根连线,每个零件连接线数 + 1	●-----●-----● 零件 1 新建点 零件 2
	A2 管接头 - 焊接管接头		
	A3 法兰 - 法兰		
B 与管道连接	B1 管道 - 管接头	连接零件重心和管道 1 个端点,零件连接线数 + 1	●-----●-----● 零件 管道
	B2 管道 - 焊接管接头		
	B3 管道 - 法兰		
C 焊接连接	C1 管道 - 焊接管接头	过焊接管接头重心向管道中心线引垂线,垂足即为焊接点,连接重心和焊接点,零件连接线数 + 1	●-----●-----● 焊接管接头 管道 : ●-----●-----● 焊接点

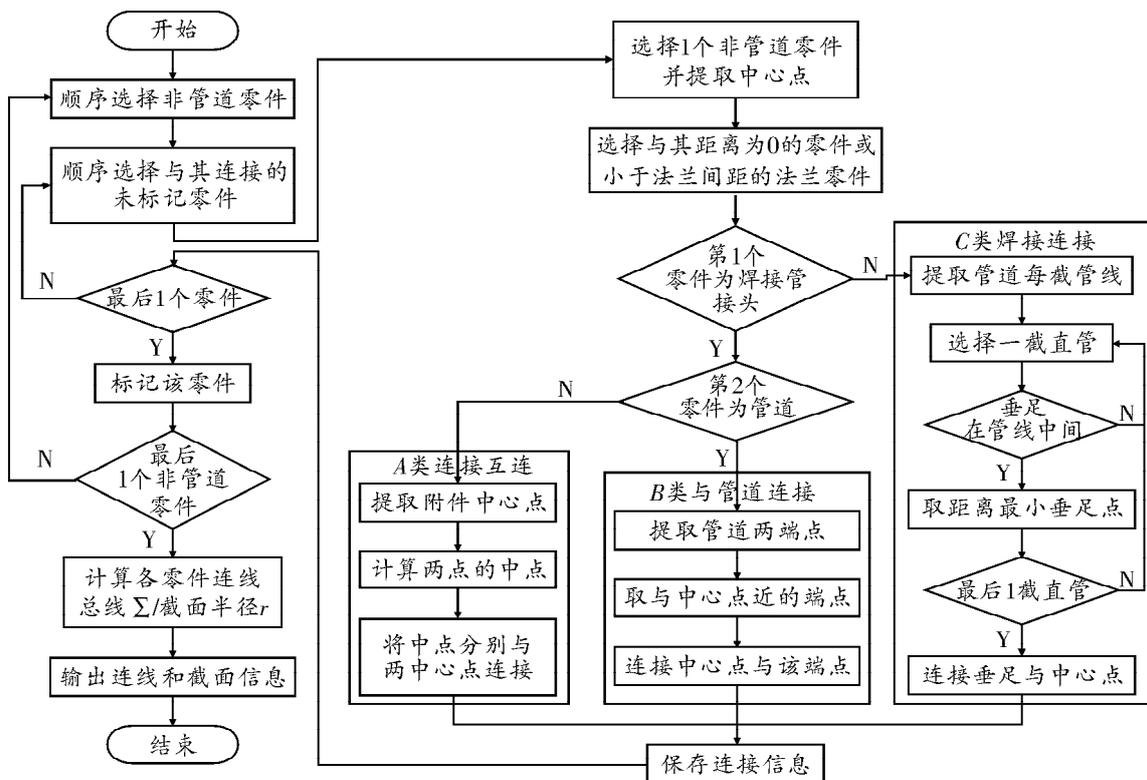


图 6 零件间连接关系提取流程图

2.3.2 管道网络拓扑结构构建方法

构建管道网络拓扑结构即建立管网所有的连接关系。各个零件的连接方式中没有管道与管道连接的情况,如图 7 流程图所示,可顺序选取非管道零件,提取与其连接零件(包括管道)的连接线,最后标记该非管道零件。

连接线提取完成后可计算其截面半径,各个零件连接线以截面半径建立梁单元后的体积应与原零件体积相同。截面半径 r 的计算公式:

$$r = \sqrt{v / (\pi \cdot \sum l)} \quad (3)$$

式中, $\sum l$ 非管道零件的连接线总长, v 为非管道零件的体积。

3 工程应用

基于 VB6.0 开发了管网系统信息自动提取软件 PNIES(Pipe Network Information Extract System)。该软件可简化管网系统有限元重建工作,减轻人工有限元分析的操作量,对高效设计优化管网系统有重要意义。CATIA 中管网系统的管道管线截面信息、连接信息以及支撑信息等,需要抽象为梁单元模型,在有限元分析软件中重建,再进行分析并优化原始管网系统。

图 7 为软件主界面和管网信息提取过程的示例,由 CATIA 管网图提取中心线和连接关系,并在 CATIA 中重绘的管网连线图,最后在分析软件中重建的管网梁单元有限元模型。为保证管网信息提取的正确性,提取过程中需要依据重绘图形调节参数。设置法

兰间距可识别不同法兰盘间距的管道。设置各零件间的容许偏差值可消除装配偏差对信息提取的影响。

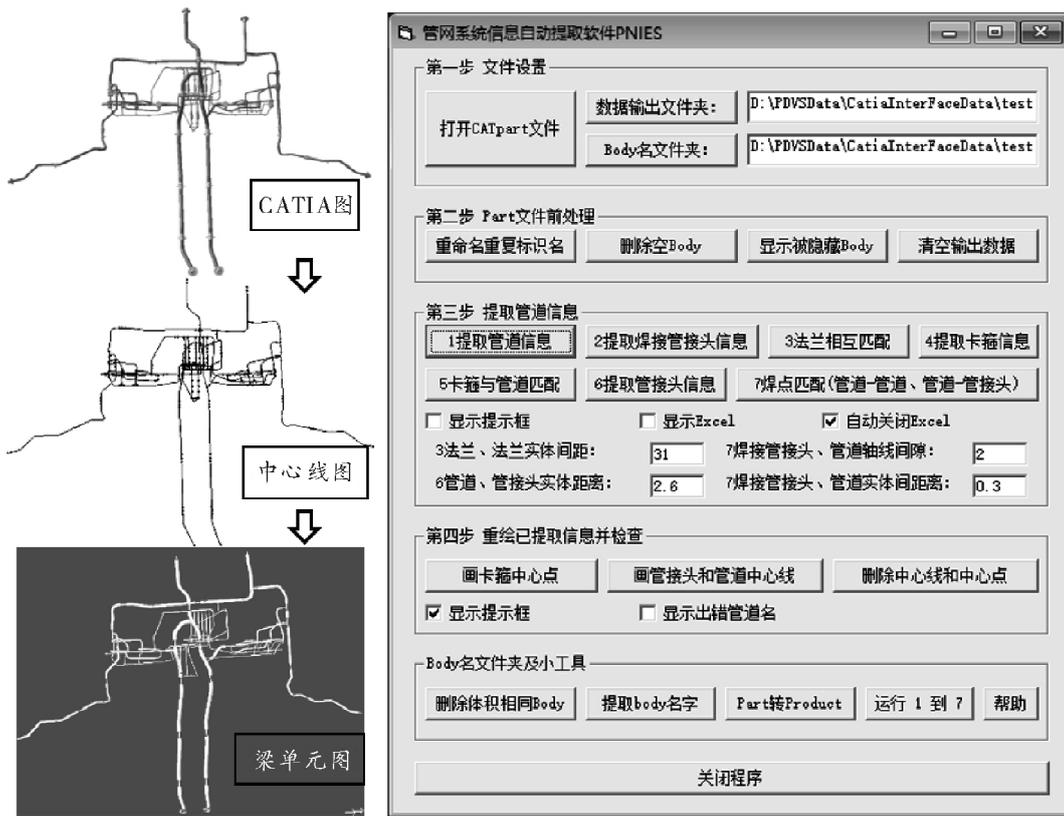


图 7 管网系统信息自动提取软件界面及示例

软件主要有 5 个功能模块,其主要功能见表 3。

表 3 功能模块说明

功能模块	功能说明
文件设置	打开管网文件、设置数据库及输出文件夹
文件前处理	处理重名零件、删除空零件、显示隐藏零件
信息提取	提取管道信息、提取支撑信息、匹配支撑信息、提取连接信息
重绘与检查	重绘卡箍、重绘管道和连接关系、删除重绘信息
小工具	删除体积相同的零件、提取零件名、Part 文件转 Product 文件、帮助

4 结束语

在管道网络系统设计优化过程中,需要在 CAD 和 CAE 软件之间反复传递数据并建模,这需要大量的人工操作且费时费力。针对该问题,提出了管道网络信息提取策略,并将信息提取分为 3 部分:管道管线和截面信息、卡箍中心点和方向信息、各零件间的连线和截面信息。在 VB6.0 中利用 CATIA 二次开发技术实现管网选信息的自动提取。

参考文献:

- [1] 李春贺. 液压管路振动仿真分析软件平台开发应用研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.
- [2] Lee I K, Kim K J. Shrinking: Another Method for Surface Reconstruction [C]. Beijing: Proceedings of the Geometric Modeling and Processing 2004: 259 - 266.
- [3] Wu Y K, Qiu Y Y, Li C H et al. Automatic Generation of the CAE Parametric Model From the CATIA Model for an Aircraft Hydraulic Tube Structure [J]. Advanced Materials Research, 2011, 291 ~ 294: 2250 - 2255.
- [4] 卞刚, 钟易成, 刘德刚. 基于 CATIA/CAA 的飞机燃油系统管路设计仿真 [J]. 计算机辅助工程, 2009, 18(3): 37 - 41.
- [5] 张旭, 陈果, 寸文渊, 等. 管道 CATIA 图形特征的自动提取及接口技术研究 [J]. 航空计算技术, 2019, 49(5): 102 - 106.
- [6] 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.
- [7] 胡宝富, 吴约旺. CATIA 软件建模与 CAA 二次开发 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2018.