

基于拟合投影的车身老鼠洞检查方法研究

郭 鹏, 董玉德, 吴文哲

(合肥工业大学机械工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘 要: 汽车车身在设计制造过程中由钣金件装配焊接形成的老鼠洞, 在某种程度上影响了整车的安全性以及空间结构。为解决老鼠洞尺寸检查步骤繁琐、检查效率低等问题, 提出了一种基于拟合投影的车身老鼠洞检查方法。首先, 通过创建老鼠洞边缘轮廓截面对轮廓曲线进行直线拟合并投影至截面; 其次, 建立投影轮廓范围内的等距空间网格划分机制, 借鉴最小二乘法的“残差平方和最小”原理筛选网格节点; 最后, 运用最佳逼近定义提取老鼠洞中心轨迹点及最大内切圆半径。利用 CATIA 软件为开发平台并结合 CAA 框架结构, 实现老鼠洞检查功能, 实例分析表明, 检查结果具有良好的准确性, 功能运行高效、自适应性强, 有效缩短了产品研发周期。

关 键 词: 老鼠洞; 曲线拟合; 投影; 网格划分; 中心轨迹点

中图分类号: TP 391

DOI: 10.11996/JGJ.2095-302X.2021050809

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2021)05-0809-07

Research on rat hole inspection method of vehicle body based on fitting projection

GUO Peng, DONG Yu-de, WU Wen-zhe

(School of Mechanical Engineering, Hefei University of Technology, Hefei Anhui 230009, China)

Abstract: The rat hole formed by the assembly and welding of sheet metal parts in the design and manufacturing process of automobile body affects the safety performance and spatial structure of the whole vehicle to some extent. In order to solve the problems of complex procedures and low efficiency for inspecting rat hole size, a method of rat hole inspection for vehicle body based on fitting projection was proposed. Firstly, the contour curve was fitted and projected to the section by creating the rat hole edge contour section. Secondly, the grid partition mechanism of equidistant space within the projection contour was established, and mesh nodes were selected by using the principle of “minimum sum of squares of residual errors” of the least square method. Finally, the best approximation definition was employed to extract the center track point and the maximum radius of the inner tangent circle. Using CATIA software as the development platform and combined with CAA framework structure, the rat hole inspection function was realized. The example analysis shows that the inspection result can attain high accuracy, efficient function strong self-adaptability, and effectively shortened cycle of product research and development.

Keywords: rat hole; curve fitting; projection; grid partition; central locus point

收稿日期: 2021-02-23; 定稿日期: 2021-04-22

Received: 23 February, 2021; Finalized: 22 April, 2021

基金项目: 国家自然科学基金项目(51775159)

Foundation items: National Natural Science Foundation of China (51775159)

第一作者: 郭 鹏(1996-), 男, 安徽芜湖人, 硕士研究生。主要研究方向为计算机辅助产品设计与分析。E-mail: 2504797728@qq.com

First author: GUO Peng (1996-), male, master student. His main research interests cover computer aided product design and analysis.

E-mail: 2504797728@qq.com

通信作者: 董玉德(1966-), 男, 安徽合肥人, 教授, 博士生导师。主要研究方向为计算机辅助设计(CAD/CAE/PDM)。E-mail: yddong@hfut.edu.cn

Corresponding author: DONG Yu-de (1966-), male, professor, Ph.D. His main research interests cover computer aided design (CAD/CAE/PDM).

E-mail: yddong@hfut.edu.cn

当前,随着计算机辅助技术在汽车制造业上的应用^[1-2],智能化、网联化成为汽车设计中的热点技术问题。传统的研发制造是一种效率低的串行工程,现代汽车设计采用了基于可制造性设计(design for manufacturing, DFM)的并行工程^[3],对三维车身模型的间隙检查^[4]是车身可制造性分析的重要内容。除了一些规则的、单个零件上的孔洞外,存在更多的则是老鼠洞。老鼠洞是各种钣金件在装配过程中经焊接后形成的,当孔洞间隙过大会导致车身结构、行驶阻力、整车安全性能出现问题。为检查老鼠洞可通过的最大半径的球体,需要对孔洞轮廓的点线等特征参数^[5-7]进行提取并作截面分析。

文献[5]为获取钣金零件的相关裁剪参数曲面信息,提出了一种基于 IGES 曲面模型的后置处理方法。侯增选等^[8]提出一种将三维点云转换为映射图像定位特征点的方法,用 Voronoi 方法计算面部三角网格各顶点处的高斯曲率、平均曲率。王春香等^[9]通过分析待测点邻域的协方差矩阵特征值之间的关系,设计了一种边界点检测算子用于初步提取孔洞边界特征点的方法。ORAZI 和 REGGIANI^[10]提出了一种新的三角形网格点的三角形连续投影算法,其指出的快速连续投影法(FCP)让投影方向在网格上连续变化。孙军华等^[11]对弯管任意横截面建立透视投影模型,探索截面图像边缘点与空间轴线投影点间的几何关系,进而提出轴线上任意一点在象平面上投影位置的精确计算方法。刘子建等^[12]基于梁单元的车身简化模型,建立了以主断面为节点的车身刚度链数学模型,确定了各主断面的材料分布。

鉴于三角形连续投影算法的思想,利用截面图像边缘点与空间轴线投影点之间的几何关系,在此基础上引入钣金件焊接孔洞截面轮廓的最大内切圆判别方法,并通过软件实现间隙检查与方法检验,旨达到以下目的:

(1) 完成对点、线等边界轮廓的投影及截面的建立,快速检测汽车钣金件装配后的孔洞间隙,实现最大内切圆算法的准确性和高效性。

(2) 有效解决汽车设计过程中人工检查耗时长、检查工作繁琐等问题,完善车身可制造性分析的研究内容。

1 老鼠洞分析

钣金件是由金属薄板综合剪、冲、切、复合、折、铆接、成型等冷加工工艺加工出的同一零件且

厚度相同。目前大部分汽车的车身设计制造中均涉及复杂多样的钣金零件,钣金件间的连接方式多以焊接为主。老鼠洞则是钣金件焊接过程形成的不规则孔洞,因其形状各异、轮廓不规则且异面情况较为常见,故称之为老鼠洞。

如图 1 所示,在车身可制造性分析^[13]中需要检查老鼠洞允许通过的最大半径的球体,而如何找到一种合适的算法来提取老鼠洞特征并进行间隙判断,是汽车车身设计^[14]中亟待解决的问题。老鼠洞分析过程分为轮廓元素提取、轮廓投影与截面生成、最大内切圆判别以及功能实例 4 个部分,其结构框架如图 2 所示。

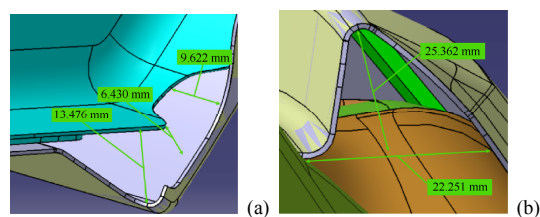


图 1 老鼠洞实例((a)案例 1; (b)案例 2)

Fig. 1 Examples of the rat hole ((a) Case one; (b) Case two)

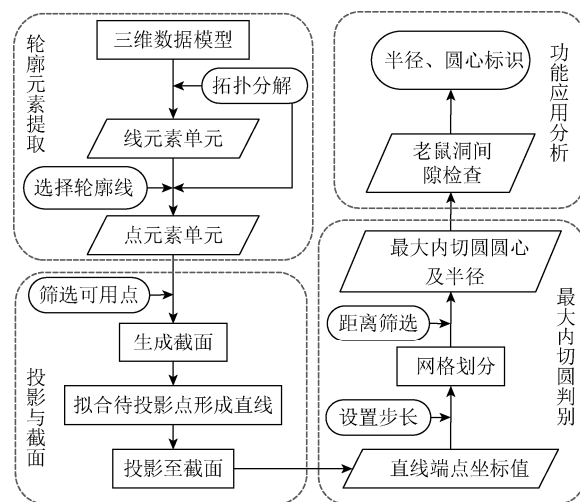


图 2 功能体系框架

Fig. 2 Framework of functional system

鉴于 CATIA 软件具有强大的曲面造型设计能力,被广泛应用于汽车制造、航天航空等领域,因此,针对汽车车身老鼠洞的检查将通过 CATIA 二次开发来完成。通过搜索各种资料发现, CATIA 软件共有 4 种二次开发方式,分别为 Automation API, KnowledgeWare, Interactive User Defined Feature 和 CAA,表 1 为 4 种开发方式的对比。通过比较可以看出: KnowledgeWare 和 IUDE 2 种开发方式虽然开发难度不大,但系统稳定性较差,因此本次开发不予考虑。Automation API 方式开发难度较低,

稳定性较为一般,但只能提供交互式的开发模式;而CAA能够很好地解决个性化、定制化、集成化系统的开发问题,开发的系统稳定性较高,能够提供友好的可视化编程环境界面。

表1 CATIA 4种二次开发方式对比
Table 1 Comparison of four secondary development modes of CATIA

开发方式	Automation	KnowledgeWare	IUDF	CAA
中文名称	自动化应用	智能构件	交互式用户定义特征	组件应用架构
开发模式	交互式	反应式	定制式	交互、集成、定制式
开发难度	低	低	低	高
稳定性	一般	低	低	高

因此,本文方法将通过组件应用架构(component application architecture, CAA)对CATIA V5 R26进行二次开发,实现老鼠洞的间隙检查功能。具体操作步骤如下:

步骤1. 首先利用边界表示法(boundary representation, B-Rep)将三维模型拓扑分解为线元素单元;

步骤2. 根据选择的2条相离的轮廓线继续做拓扑分解得到其端点元素单元,利用其中3个不共线的端点元素生成老鼠洞的轮廓截面;

步骤3. 对另外选择的辅助轮廓线进行拟合生成直线,并投影至生成截面上;

步骤4. 计算投影后的新端点的坐标值,得到空间坐标系下端点坐标的取值范围,等距设置步长并对取值范围内的坐标进行网格化划分;

步骤5. 通过距离筛选得到最大内切圆的圆心及半径,同时对检查不合格的老鼠洞进行标注并显示最大阈值,弹出危险提示框。

2 截面生成与轮廓投影

边界表示法和体素构造法是表达三维模型的2种方式。体素构造法主要用于造型表达,而边界表示法是目前常用的几何模型表达方式,其相对成熟性使得在CAD和CAE上的应用更具有优势。

利用三维形体欧式五层拓扑结构对B-Rep模型进行拓扑分解,得到点、线、环、面、体元素特征。本文方法仅获得所需的点、线元素,根据点线元素单元创建截面和投影轮廓线。

2.1 截面生成

获取拓扑得到的点元素单元,通过点在轮廓线上的属性特征,运用CAA库函数GetFirst-Point()和GetSecondPoint()识别曲线的2个端点,非端点的一些定位点之类直接剔除。其次,对2个端点调用函数GetMathPoint()生成坐标值,并运用位姿变换矩阵 $T=(M \ V)$ 转换成空间坐标(M 为旋转变换矩阵, V 代表平移量),设端点的相对坐标值 $H(X, Y, Z)$,通过式(1)转换成绝对坐标 $H(X_{abs}, Y_{abs}, Z_{abs})$,即

$$\begin{pmatrix} X_{abs} \\ Y_{abs} \\ Z_{abs} \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} + V \quad (1)$$

其中, $M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix}$, $V = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix}$, 矩阵 M

和矩阵 V 的数值可通过函数GetAbsPosion()和GetCoefficients()相继得到。

最后,筛选出坐标值互不成比例的3个端点,设为 $M(x_1, y_1, z_1)$, $N(x_2, y_2, z_2)$, $Q(x_3, y_3, z_3)$,排除三点共线造成截面创建失败的风险。另设截面方程为 $P(x, y, z) = ax + by + cz - D = 0$,将 M , N 和 Q 代入截面方程 $P(x, y, z)$,有

$$\begin{cases} x_1 a + y_1 b + z_1 c = D \\ x_2 a + y_2 b + z_2 c = D \\ x_3 a + y_3 b + z_3 c = D \end{cases} \quad (2)$$

设 a, b, c 为参数变量,列出式(2)未知系数的行列式

$$\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & -D \\ x_2 & y_2 & z_2 & -D \\ x_3 & y_3 & z_3 & -D \end{vmatrix} = 0 \quad (3)$$

联立行列式进行计算,可得 a, b, c 关于 D 的表达式,即

$$\begin{cases} a = \frac{x_1 y_2 (z_3 - z_1) + y_1 (z_2 + z_3)}{x_1 y_2 z_3} D = k_1 D \\ b = \frac{-(z_2 + z_3)}{x_1 y_2 z_3} D = k_2 D \\ c = \frac{1}{z_3} D = k_3 D \end{cases} \quad (4)$$

其中, k_1, k_2, k_3 为常数。

将 a, b, c 的值代入截面方程 $P(x, y, z)$,得到 $P(x, y, z) = k_1 x + k_2 y + k_3 z - 1 = 0$,由平面截距方程式的性质可知,该截面 P 的法向量为 $n = (k_1, k_2, k_3)$,针对已知点的坐标值,创建老鼠洞边界轮廓截面。

2.2 轮廓拟合与投影

2.2.1 曲线拟合

完成截面创建后,需将处于异面状态的其余老鼠洞轮廓线投影至该截面内。通过对三维车身数模拓扑得到的线特征,可以有选择地提取钣金件上的线轮廓元素,假设选择的是直线特征,则直接投影即可;若是曲线特征,则需要对曲线进行直线拟合,具体操作如下:

步骤 1. 获得曲线起始端点的空间坐标值;

步骤 2. 对起始点连线形成的直线进行垂直等距 $t(t \rightarrow \infty)$ 等分,分别作等分线与曲线相交,生成等距节点;

步骤 3. 依次选取包括起点、等距节点和端点构成的点集合,存入链表内;

步骤 4. 按链表内顺序连成 t 条直线,通过直线段近似拟合曲线特征。

研究老鼠洞时,若将每条需要投影的轮廓曲线均 $t(t \rightarrow \infty)$ 等分,无疑会造成分析结果过于复杂,程序运行缓慢等问题。图 3 为曲线拟合示意图,由此可知,等分次数越大拟合程度越高,但每提高一等分,程序运行时间也将成指数增加。

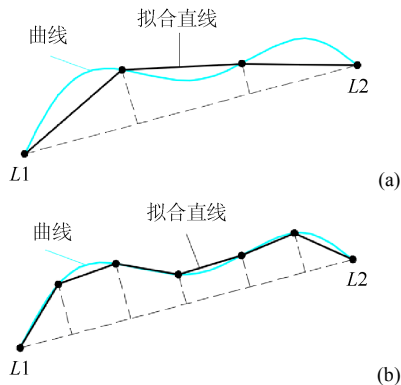


图 3 曲线段直线拟合((a)三段拟合;(b)六段拟合)

Fig. 3 Linear fitting of the curve segment ((a) Three sections of the fitting; (b) Six section of the fitting)

老鼠洞是由 2 个以上的钣金件焊接后形成的,在对大量车身钣金件以及老鼠洞的形状研究后发现,尽管孔洞轮廓不规则,但钣金件也不会出现弯曲曲率过大的现象,因此对其进行合理地划分,总能勾勒出近似的轮廓特征。

首先,老鼠洞的轮廓曲线是由钣金件的弯曲程度来表示的,使用 CATIA 进行曲面设计遇到弯曲曲率突变时,会重新设置断点和曲线,或通过多个曲线接合实现钣金零件的设计,故其钣金件的曲率突变处曲线呈多段、短距离分布(如图 4 所示,大多

数曲率变化大的线段长度都在毫米级别内),选择合适的轮廓线为最大程度描述孔洞轮廓提供了前提条件。其次,老鼠洞检查功能主要目标是通过网格划分筛选轮廓的最大内切圆圆心(即轨迹中心),而最大内切圆圆心的位置落在边线附近的可能性较小,因此,轮廓线的拟合在其附近区域造成的偏差对轨迹中心的影响可忽略不计。最后,老鼠洞检查功能将对孔洞轮廓的 6 条边线进行选择,并在一定程度上实现对轮廓范围的覆盖。

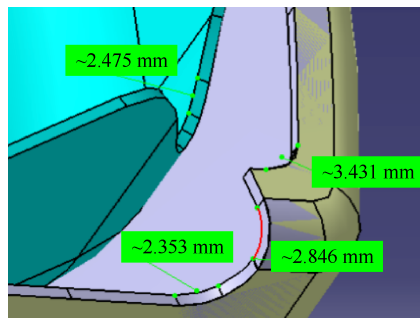


图 4 钣金件曲线段分布

Fig. 4 Curve section distribution of sheet metal parts

通过以上分析,同时结合程序运行时间随等分次数成指数倍增加的情况,本文选择对轮廓线每段曲线按 3 等分处理,在尽可能保证功能目标的前提下,又不至程序运行缓慢。

2.2.2 轮廓投影

轮廓线拟合成直线后,获取所有拟合端点数记为 m ,从获取顺序开始依次投影。设第 $i(i \in (0, m))$ 个端点 a_i 坐标值为 (x_0, y_0, z_0) ,作点 a_i 沿截面 P 的法向量 $n=(k_1, k_2, k_3)$ 方向的直线,直线方程参数式设为 $L_i: x=x(t), y=y(t), z=z(t)$,由高等数学空间直线方程式可得

$$\frac{x-x_0}{k_1} = \frac{y-y_0}{k_2} = \frac{z-z_0}{k_3} = t \quad (t \text{ 为变量}) \quad (5)$$

$$\begin{cases} x = tk_1 + x_0 \\ y = tk_2 + y_0 \\ z = tk_3 + z_0 \end{cases} \quad (6)$$

由分析可知,点 $a_i(x_0, y_0, z_0)$ 及 a_i 在截面 P 上的投影点 $A_i(x_i, y_i, z_i)$ 和 $M(x_1, y_1, z_1)$ 构成直角三角形,因此,点 M 和 A_i 构成的直线方向向量为 $q = 1/h \cdot ((x_1 - x_i), (y_1 - y_i), (z_1 - z_i))$ (其中 $h = \sqrt{(x_1 - x_i)^2 + (y_1 - y_i)^2 + (z_1 - z_i)^2}$)。点 A_i 坐标值满足式(6),运用空间几何知识可知, $n \times q = 0$,代入已知值得

$$t = \frac{(x_1 - x_0)k_1 + (y_1 - y_0)k_2 + (z_1 - z_0)k_3}{k_1^2 + k_2^2 + k_3^2} \quad (7)$$

由已知的 t 值,可得到点 A_i 的坐标值,不断循环操作,直至完成所有端点的投影。

下面,通过3条空间曲线围成的封闭轮廓进行说明,并对选择的原轮廓线进行上述操作,分别拟合成3条三段式直线段且投影。将投影点按顺序连接,形成新的封闭几何图形(图5),此封闭轮廓即为投影轮廓线。

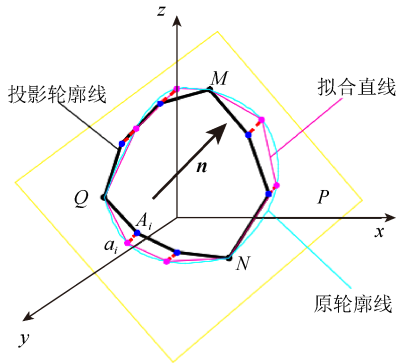


图5 三段式轮廓线投影原理

Fig. 5 Principle of three-section contour projection

3 最大内切圆判别

钣金件老鼠洞检查的目的是识别其轮廓的中心轨迹点(即轮廓线最大内切圆圆心),利用轨迹点进一步求得老鼠洞允许通过的最大半径的球体。主要方法是对上述投影轮廓线进行网格划分和节点(圆心)筛选,从中甄别出最佳的中心轨迹点及轨迹半径。

3.1 空间网格划分

投影轮廓的外围区域范围由其各直线段的端点确定,因此,建立集合 $V_1=\{X\}$; $V_2=\{Y\}$; $V_3=\{Z\}$ (X, Y, Z 为所有投影轮廓的点坐标取值),分别比较 V_1, V_2, V_3 中的值,根据排序算法找出最大、最小值,记为 $X_{\max}, X_{\min}, Y_{\max}, Y_{\min}$ 和 $Z_{\max}, Z_{\min}$ 。找到与最值相对应的端点,在空间坐标轴上标识出各个位置点,然后进行如下操作:

步骤1. 令 $l_1 = X_{\max} - X_{\min}$, $l_2 = Y_{\max} - Y_{\min}$, $l_3 = Z_{\max} - Z_{\min}$;

步骤2. 根据精度要求设置 l_1, l_2, l_3 的划分步长,等距划分后作垂直于对应坐标轴的分割平面;

步骤3. 依次使分割平面与截面 P 相交,鉴于2个平面相交成直线,3个平面相交形成交点的原理,依次拾取 X 轴与 Y 轴, X 轴与 Z 轴及 Y 轴与 Z 轴分割平面与截面 P 的相交节点;

步骤4. 剔除轮廓边界节点,并将其余节点保存其空间位置坐标。

通过对车身数模老鼠洞的分析可知,焊接处钣金件最多为4~5种,形成的孔洞轮廓线在可控阈值内,其轮廓最大半径一般不会超过50 mm。结合实际需要,设投影轮廓的网格划分步长为 $n(n>0)$,每条分割线之间包围面积为 ΔS ,拟合轮廓面积为 $S_{\text{面}}$ 。由网格划分方法可知 $\Delta S = S_{\text{面}}/n^2$,为保证分割点包围面积占轮廓面积比值 ≤ 0.01 (即 $\Delta S/S_{\text{面}} = 1/n^2 \leq 0.01$,得到 $n \geq 10$),因此,在考虑系统时间复杂度时,选择 $n=10$ 即网格划分步长设置为10,进行等距10段划分。3个方向上的综合精度可达0.5 mm,基本满足实际检测要求,如需提高测量精度,可重新设置步长对轮廓线进行网格划分。

3.2 轨迹圆心筛选

在CAA内调用函数 GetMathPoint()拾取所有节点空间坐标值,存入链表 L 内,从链表中的首个节点开始,计算当前节点 i 到各投影轮廓线距离的平方和 $D_i = \sum_{j=1}^s d_j^2$ ($j \in (0, s)$), j 取整数, s 为投影轮廓包含的直线段的数量)。具体步骤如下:

步骤1. 由于各个拟合投影直线段的端点坐标已知,令某一端点坐标值为 $C_j(x_j, y_j, z_j)$,直线段方程可通过简单计算得到,即

$$\frac{x - x_j}{m_j} = \frac{y - y_j}{n_j} = \frac{z - z_j}{p_j} \quad (8)$$

直线段法向量为 $\mathbf{m}(m_j, n_j, p_j)$,其中 m_j, n_j, p_j 的值通过直线2端点的坐标差值计算得到。

步骤2. 设节点 B_i 的坐标值为 $B_i(x_i, y_i, z_i)$,运用点法式原理作过节点 B_i 沿法向量 $\mathbf{m}=(m_j, n_j, p_j)$ 的平面 N ,平面方程为

$$m_j(x - x_j) + n_j(y - y_j) + p_j(z - z_j) = 0 \quad (9)$$

步骤3. 联立式(8)和(9)可得平面 N 与直线段的交点 E 的坐标值为

$$\begin{cases} x_e = \frac{m^2(x_i - x_j) + mn(y_i - y_j) + mp(z_i - z_j)}{m_j^2 + n_j^2 + p_j^2} + x_j \\ y_e = \frac{nm(x_i - x_j) + n^2(y_i - y_j) + np(z_i - z_j)}{m_j^2 + n_j^2 + p_j^2} + y_j \\ z_e = \frac{pm(x_i - x_j) + pn(y_i - y_j) + p^2(z_i - z_j)}{m_j^2 + n_j^2 + p_j^2} + z_j \end{cases} \quad (10)$$

步骤4. 运用2点之间距离公式,可计算出节点 B_i 的 D_i 值,最大内切圆的圆心轨迹可借鉴最小二乘法的“残差平方和最小”原理,使用距离平方方法,将节点到每段直线的距离值按二次方放大,即

$$D_i = \sum_{j=1}^s d_j^2 = \sum_{j=1}^s ((x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2 + (z_i - z_e)^2) \quad (11)$$

步骤 5. 对所有的 D_i 排序, 通过“误差放大思想”推导出 D_i 值最小的节点 B_i , 并记为最大内切圆的轨迹圆心 O 。

步骤 6. 筛选出轨迹圆心 B 到各投影轮廓线的距离 d_i , 将排序后得到的最小值记作最大内切圆的半径 R , 即

$$d_i = \sqrt{((x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2 + (z_i - z_e)^2)} \quad (12)$$

结合以上方法, 在理论上完成了对老鼠洞轨迹中心 O 和轮廓最大内切圆半径 R 的获取。

4 功能实例

老鼠洞功能实例实现过程即基于上述理论, 以 CAA 为开发平台, 借助 Visual Studio2008 工具对 CATIA 软件进行二次开发并嵌入其中。利用投影与最大内切圆判断方法, 整合设计思路、算法, 编写代码进行计算, 验证了本文提出的理论方法在老鼠洞检查中的可行性和准确性。

老鼠洞检查功能界面如图 6 所示, 依据上述理论: 首先, 选择 2 条截面创建线(即截面线 1、截面线 2), 用于筛选出 3 个不共线的端点生成老鼠洞轮廓截面; 其次, 在“确定端点辅助边”内选取其余 4 条描述老鼠洞轮廓范围的边线; 最后, 在参数模块下设置允许通过的球体半径阈值(单位: mm)。对所选老鼠洞的 6 条轮廓线进行三段式直线拟合, 并投影至截面, 运用网格划分、中心轨迹点筛选等手

段, 确定最大内切圆圆心及孔洞轮廓允许通过的最大球体半径。

表 2 为老鼠洞检查与手动测量的结果分析对比, 实验数据是对 3 款不同车型的 4 种老鼠洞案例测试后得到。结果表明, CATIA 自带的距离检测功能在测量后只能得到简单的点、线、面、体之间的距离, 要继续得到轮廓的最大内切圆, 只能进行繁琐的数学计算。而老鼠洞检查功能能够快速在后台进行运算, 并在模型中建立半径等于输入阈值的球体, 让检查结果更直观地展示。同时, 如果老鼠洞检查不合格, 该功能将在 CATIA 界面上弹出问题提示框, 并在老鼠洞轮廓处标注实际允许通过的最大球体的半径值; 检查结果合格时, 仅显示合格消息框, 不再标注其他信息。

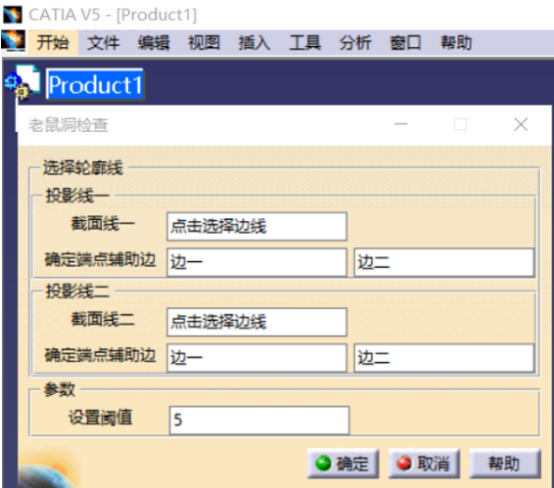


图 6 老鼠洞检查功能界面
Fig. 6 Functional interface of rat hole inspection

表 2 老鼠洞检查与手动测量对比
Table 2 Comparison of rat hole inspection and manual measurement

项目	案例 1	案例 2	案例 3	案例 4
输入阈值	3.0 mm	2.0 mm	5.0 mm	5.5 mm
老鼠洞检查				
手动测量				

5 结 束 语

针对目前汽车车身可制造性分析中存在的问题,在传统的计算机辅助设计的基础上引入拟合投影思想。提出通过创建老鼠洞截面、将轮廓曲线拟合成直线并投影至该截面,建立等距网格划分、筛选节点、计算最大半径等手段,为车身老鼠洞间隙检查、快速系列化修改提供了一种简易可行的方法,通过对检查功能的研究,可得出以下几点结论:

(1) 老鼠洞截面创建使孔洞轮廓线异面问题有效解决,避免了因计算面不同导致的偏差,提高了检查结果的统一性。

(2) 多层次分段式直线拟合,最大限度保证拟合直线与原轮廓线的匹配;正反向、同向量方式将拟合直线依照顺序投影,排除重复操作。

(3) 通过设置步长建立等距空间网格划分机制,有效解决 CATIA 环境下钣金件老鼠洞轮廓内点的自动布置的难题。

(4) 对节点借鉴最小二乘法的“残差平方和最小”原理,通过“误差放大思想”筛选得到老鼠洞拟合轮廓的中心轨迹点;同时,取中心轨迹点到各边线距离的极小值作为最大内切圆半径,实现了老鼠洞检查的目的。

实例表明,本文方法具有较好的普适性和有效性。但仍存在以下问题:①在轮廓线异面较多的情况下创建的截面表示度较差;②手动选择边线过于繁琐,缺乏一种有效的边线自动提取方法。这些问题将在后续研究中进行改进和完善。

参考文献 (References)

- [1] 李纬宇. 基于零件制造成本的可制造性评价技术研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2015.
LI W Y. Research on manufacturability analysis based on part manufacturing cost[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2015 (in Chinese).
- [2] 董玉德, 张荣团, 宋忠辉, 等. 胎面花纹边界特征提取及重构方法研究[J]. 机械工程学报, 2018, 54(3): 137-147.
DONG Y D, ZHANG R T, SONG Z H, et al. Extraction of boundary features of tread patterns from tire point cloud[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2018, 54(3): 137-147 (in Chinese).
- [3] MILISAVLJEVIC-SYED J, COMMURI S, ALLEN J K, et al. A method for the concurrent design and analysis of networked manufacturing systems[J]. Engineering Optimization, 2019, 51(4): 699-717.
- [4] NASIR HUSSAIN N, REGALLA S P, DASESWARA RAO Y V. Economical method for manufacturing of advanced light weight material crash box for automobiles[J]. Materials Today: Proceedings, 2020, 27: 1186-1191.
- [5] 许加陈, 游有鹏. 基于 IGES 的钣金零件特征识别的方法研究[J]. 机电工程, 2017, 34(6): 582-585, 602.
XU J C, YOU Y P. Feature recognition method of sheet-metal based on IGES[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2017, 34(6): 582-585, 602 (in Chinese).
- [6] 胡彦强, 马钺, 许敏. 白车身孔槽类特征三维坐标在线测量方法研究[J]. 计算机工程, 2017, 43(10): 186-191, 197.
HU Y Q, MA Y, XU M. Study of on-line measurement method for 3D coordinates of body-in-white hole slot features[J]. Computer Engineering, 2017, 43(10): 186-191, 197 (in Chinese).
- [7] LAI J Y, WANG M H, CHIU Y K, et al. Recognition of depression and protrusion features on B-rep models based on virtual loops[J]. Computer-Aided Design and Applications, 2016, 13(1): 95-107.
- [8] 侯增选, 李岩翔, 杨武, 等. 智能配镜三维特征参数提取方法研究[J]. 图学学报, 2019, 40(4): 665-670.
HOU Z X, LI Y X, YANG W, et al. Feature extraction of facial point cloud data for intelligent spectacle frame fitting[J]. Journal of Graphics, 2019, 40(4): 665-670 (in Chinese).
- [9] 王春香, 周国勇, 刘流. 逆向工程中点云孔洞轮廓线的提取[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(24): 375-381.
WANG C X, ZHOU G Y, LIU L. Extracting contour lines of point cloud in reverse engineering[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(24): 375-381 (in Chinese).
- [10] ORAZI L, REGGIANI B. A novel algorithm for a continuous and fast 3D projection of points on triangulated surfaces for CAM/CAD/CAE applications[EB/OL]. [2021-02-03]. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.06.005>.
- [11] 孙军华, 张悦, 程晓琦. 基于轴线投影精确模型的弯管立体视觉测量方法[J]. 航空制造技术, 2019, 62(5): 40-45.
SUN J H, ZHANG Y, CHENG X Q. A stereo vision measurement method for bent tube based on accurate projection model for axis[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2019, 62(5): 40-45 (in Chinese).
- [12] 刘子建, 周小龙, 田海豹, 等. 基于主断面刚度优化分配的车身正向概念设计[J]. 中国机械工程, 2015, 26(6): 837-843.
LIU Z J, ZHOU X L, TIAN H B, et al. Forward conceptual design of car body using stiffness optimal allocation of main sections[J]. China Mechanical Engineering, 2015, 26(6): 837-843 (in Chinese).
- [13] 刘福. 基于干涉距离检查的车身可制造性分析系统开发研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.
LIU F. The development and research of car body manufacturability analysis system based on interference distance inspection[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019 (in Chinese).
- [14] ALTACH J, BADER B, FRÖHLICH T, et al. Approach to the systematic categorization and qualitative evaluation of multi-material designs for use in vehicle body structures[J]. Procedia CIRP, 2019, 84: 908-915.