

文章编号:1000-582X(2002)03-0006-04

基于相关性分析方法的车体尺寸精度控制

陈猛,徐宗俊,郭钢

(重庆大学机械工程学院CAD/CAM室,重庆400044)

摘要:围绕如何提高汽车车体尺寸精度这一核心问题进行了研究。车体装焊的复杂性决定了误差产生的多因素性,车体制造过程中产生误差的工位和主要因素是不断变化的,采用相关性分析方法从众多的误差根源中准确地发现最主要的误差源;结合工程实践,论述了车体尺寸波动的相关性分析方法的原理,根据测量点的相关性分析和车体焊接工艺的层次结构,可准确地找到产生车体尺寸误差的工位;讨论了如何利用相关系数矩阵的特征值和相应的特征向量判断尺寸波动的模式,指出测量数据的波动主要按最大特征值所对应的特征向量方式波动,引起这种波动的原因是车体误差产生的主要原因,应重点采取措施加以控制;提出了应用计算机进行相关性分析的解决方案。

关键词:车体;尺寸;相关性

中图分类号: TG404; TH161.2

文献标识码: A

车体,也叫白车身,是整个汽车零部件的载体。车体制造质量将直接影响到汽车生产的总装过程和整车的外观质量以及封闭性能,它的优劣决定了整车的质量。20世纪80年代末,美国汽车销量大减,日本汽车销量大增,主要原因就是在汽车车体制造质量上美国落后于日本^[1]。我国汽车车体制造技术尤其薄弱,提高汽车车体的尺寸精度已成为我国汽车工业界和学术界亟待解决的问题之一。

1 车体误差产生原因

汽车车体装配关系层层拓扑的复杂结构决定了误差产生的多因素性和来源的多样性,其中最主要的是产品设计、零件偏差、焊接夹具、焊接工艺四个方面^[2]。产品设计决定了车体的固有质量,而后三类偏差经过装配过程中耦合、传播与积累最后形成车体的综合误差。

产品设计 车身误差很大部分是由设计决定的。产品的“容错性”好,则可以实现“以二流的零件装配出一流的产品”。实践表明,车体的尺寸误差主要是设计而非制造出来的,保证产品质量必须从产品设计开始^[3]。例如微车车体侧围与地板接头设计不合理将导致很大的误差。

零件 零件偏差产生于冲压阶段,零件尺寸的不合格造成汽车车体在装焊时处于额外的非自然状态,它也是造成车体误差的一个原因。某些情况下,零件的某些尺寸误差对装焊所造成的影响可以通过调整夹具来消除;多数情况下,由于零件之间不协调,虽然在夹具较大的压紧力作用下强行贴合、强制点焊在一起了,但由于产生了较大的强制变形,从而产生装焊误差。

夹具 夹具是车身各零件进行装配的载体,对车体装配质量具有至关重要的作用。在焊接夹具的设计、制造、调整、使用和维护等各个环节都存在着产生装焊误差的因素。车体是薄板冲压件,传统的“3-2-1”定位原理在车体焊接夹具设计中已不适用,其第一基面上的定位点数目应大于3,定位效果不仅取决于定位点的数目,而且取决于定位点的布置形式。正确设计的焊接夹具应具有良好的形面定位能力、正确的定位点和夹紧类型,保证夹具形闭合、力闭合及自锁特征。

焊接工艺 点焊是轿车车身装配的主要形式,轿车车身平均有3000~5000个焊点。因此,车体焊接装配过程偏差是车体综合偏差的主要来源之一。通过对夹具的调整在夹具上进行反变形,可以抵消一部分焊接产生的变形。汽车装焊时应选择合理的焊接方法和焊接工艺,采用稳定的焊接规范以减少焊接变形,而且

• 收稿日期:2001-11-24

基金项目:国家863/CIMS主题资助项目(863-511-942-009)

作者简介:陈猛(1972-),男,在读博士生,主要研究汽车制造CAO/CAE技术。

应力求焊接变形比较稳定和比较容易控制。

车体制造过程中误差产生的主要根源是不断变化的,如何抓住问题的重点呢?美国 Michigan 大学吴贤铭教授提出了汽车车体尺寸精度控制方法——“2 mm 工程”,通过在克莱斯勒汽车公司 18 个月的实践,取得了惊人的成功^[4]。下面重点阐述汽车车体尺寸波动的相关性分析方法,旨在帮助工程技术人员从众多的误差根源中准确地发现主要因素。

2 相关性分析原理

车体的尺寸精度可以由一些关键点的尺寸来衡量^[5]。相关性分析方法就是对车体关键尺寸点的空间位置进行在线或者离线抽样检测,应用数理统计方法分析各测量点的标准偏差 σ ,重点分析那些不合格的点($6\sigma > 3\text{mm}$)的数据变化关系,从中发现问题。“相关”是指两个测量点数据的波动方式是否一致。如果测量点的数据呈现相同的波动方式,即同时上升或者同时下降,则表示相关性强。如果车体焊接过程中的某个部件或零件定位不好,那么在该部(零)件上的测量点不但具有较大的误差,而且会以某种关系一起变化,这就意味着这些测量点之间存在着很强的相关性。将相关性很强的点放在一个组进行分析,就能够系统地发现那些有问题的工位。因为从车体焊接工艺的层次结构可以知道只有某些工位才能导致这些测量点的尺寸误差。也就是说,不同夹具的定位误差会导致不同的尺寸误差和不同的相关关系。因此,借助于测量点的相关性分析和车体焊接工艺的层次结构,可以准确地找到产生车体尺寸误差的根本原因。

需要特别指出的是:在相关性分析中必须有一个定量的指标来度量变量间的相关性强弱。数学上用相关系数来表示两个变量之间线性相关的强弱程度。如果有两个变量 X_1, X_2 ,它们之间的相关系数 γ 的数学定义如下:

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x})(x_{2i} - \bar{x}_2)}{(N - 1)S_1 S_2}$$

上式中 S_1, S_2 分别代表第一个变量的标准偏差和第二个变量的标准偏差。根据这一数学定义得知: γ 的取值范围是 -1 到 $+1$ 。当 $\gamma = 1$,表示两个变量是理想的正线性相关关系; $\gamma = 0$,表示两个变量为非线性相

关; $\gamma = -1$,表示两个变量是理想的负线性相关关系。在进行车体尺寸误差分析时,根据经验,一般认为 $\gamma > 0.5$ 的点具有较强的相关性,将这些点进行分组分析和案例分析,就可以查找出引起车体尺寸波动的原因。

当有两个以上变量时,那么每一对变量之间都存在着一个相关系数。这时就要用相关系数矩阵来将这些相关系数按一定顺序排列。由于变量 X_1 和 X_2 之间的相关系数,也就是 X_2 和 X_1 之间的相关系数,同时变量与自身的相关系数值为 1。因此,相关矩阵是所有对角元素为 1 的对称矩阵。下面结合工程实践,阐述如何利用多个变量相关去发现产生车体尺寸波动的根本原因。

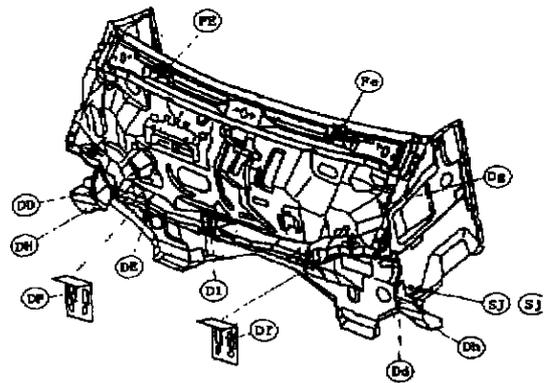


图 1 前壁板总成测量点分布图

图 1 是某微车前壁板焊接总成测量点分布示意图。前壁板总成由左右对称的 4 个部分组成:前壁板 (Dg,DE)、前上构件(D1、Df、Df)、翼子板保险杠托架 (Dd、Dh、DD、DH)、前罩板(Fe、FE)。抽样检测 100 个车体上的关键尺寸点的 X、Y、Z 的坐标值,经计算得知点 D1、Df、DE、Dg、Fe、DH 的 X、Y 方向的 $6\sigma > 3\text{mm}$,因此认为这些点是不合格的点。按照相关性系数计算公式计算它们之间的相关系数,结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 X 坐标的相关系数表

	D1	Df	DE	Dg	Fe	DH
D1	1.000	0.948	0.933	0.881	0.934	0.931
Df	0.948	1.000	0.944	0.922	0.712	0.780
DE	0.933	0.944	1.000	0.661	0.896	0.790
Dg	0.881	0.922	0.661	1.000	0.994	0.999
Fe	0.934	0.712	0.896	0.994	1.000	0.989
DH	0.931	0.780	0.790	0.999	0.989	1.000

表2 Y坐标的相关系数表

	D1	Df	DE	Dg	Fe	DH
D1	1.000	0.969	0.984	0.795	0.856	0.880
Df	0.969	1.000	0.983	0.705	0.846	0.773
DE	0.984	0.983	1.000	0.768	0.763	0.885
Dg	0.795	0.705	0.768	1.000	0.865	0.886
Fe	0.856	0.846	0.763	0.865	1.000	0.999
DH	0.880	0.773	0.885	0.886	0.999	1.000

从表1和表2可以看出:前壁板、前上构件、翼子板保险杠托架、前罩板点相互间的相关系数很大,因此可以认为导致该尺寸波动的原因是“前壁板焊接总成”工位出现了问题,因为如果是分总成工位出现问题,那么只有位于同一部件上的点才有较大的相关,而不同部件上的点之间相关性将较弱。经现场跟踪分析发现:1)前壁板的定位孔由于夹具开启时动作速度过大,造成定位孔边缘严重变形;2)夹具定位点离施焊点较远,操作不注意时易造成焊点位置偏移。因此对夹具进行相应的调整使问题得到了解决。

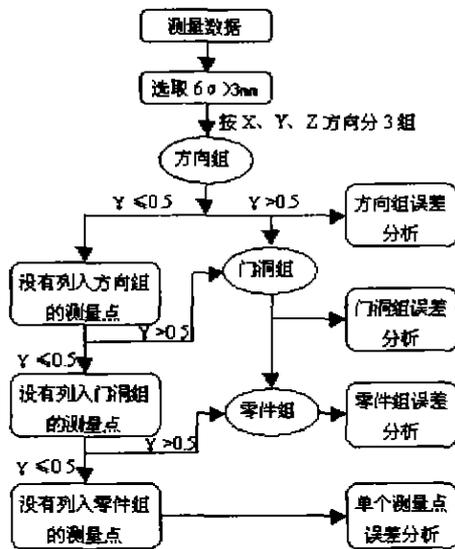


图2 分组方法流程图

引起车体尺寸波动的焊接工位可能有很多,因此必须按照科学的方法将测量点分组,才能系统地发现问题所在,实践证明图2所示的分组方法是较为科学的^[6]。

3 相关系数矩阵特征分析

仅知道测量点间的相关性是不够的,还要分析数据波动的最主要模式以发现误差产生的根源。这就需要对相关系数矩阵进行特征分析。矩阵特征值与特征

向量的数学定义是:如果 A 是 $n \times n$ 矩阵,如果存在数 λ 和 n 维非零向量 X 满足 $AX = \lambda X$,则称 λ 为矩阵 A 的特征值, X 称为 λ 相对应的特征向量。如果 A 是 $n \times n$ 的实对称矩阵,则 A 有 n 个特征值和 n 个特征向量。该数学定义的物理意义可以这样理解:矩阵 A 包含的 n 个相关的变量,都可以被描绘为多个不相关的变量的线性组合。特征向量表示波动模式,而对应的特征值则表示该波动模式在整个波动中所占的权重。如果特征值为负数,则在计算权重时取它的绝对值。

前已述及,相关系数矩阵是实对称矩阵,因此,矩阵有多少行就有多少个特征值与特征向量。同时,相关系数矩阵的特征值还存在着这样一个规律:少数特征值(通常是某一个)远远大于其他的特征值。这就意味着测量数据的波动虽然有很多种波动模式,但由于大部分波动模式所占的权重很小,通常可以忽略不计,所以它的波动可以看成是仅仅由少数向量所致。这有助于我们发现主要的波动模式,从而采取措施以降低尺寸波动。

根据表1建立相关系数矩阵,计算得到它的6个特征值和对应的特征向量,按特征值大小顺序排列为:

$$\lambda_1 = 5.4415 \quad X_1 = [0.4221 \quad 0.3974 \quad 0.3913$$

$$0.4102 \quad 0.4151 \quad 0.4126]^T$$

$$\lambda_2 = 0.4716 \quad X_2 = [-0.1689 \quad -0.4436$$

$$-0.5663 \quad 0.4320 \quad 0.3231 \quad 0.3923]^T$$

$$\lambda_3 = 0.2549 \quad X_3 = [-0.0526 \quad 0.5991$$

$$-0.4426 \quad 0.4646 \quad -0.4661 \quad -0.0965]^T$$

$$\lambda_4 = -0.1989 \quad X_4 = [0.1082 \quad -0.4962$$

$$0.4326 \quad 0.5527 \quad -0.4894 \quad -0.0995]^T$$

$$\lambda_5 = 0.0358 \quad X_5 = [0.7268 \quad -0.1478$$

$$-0.2886 \quad -0.3141 \quad -0.3725 \quad 0.3595]^T$$

$$\lambda_6 = -0.0049 \quad X_6 = [0.5006 \quad -0.0992$$

$$-0.2426 \quad 0.1833 \quad 0.3510 \quad -0.7238]^T$$

其中 λ_1 最大,是所有特征值之和的 84.92%,也就是说,测量点的 X 方向波动将主要按照第一个特征向量 X_1 的波动模式波动,该波动模式的权重占整个数据波动的 84.92%,而其他 4 种波动模式则是次要的。

4 软件化解决方案

车体关键点尺寸波动的相关性分析是建立在车体多个测量点和抽样的基础上,计算工作相当繁琐,因此有必要利用计算机软件来快速地求解。如果采用 C 或者 Fortran 等计算机高级语言根据一定的算法编写程序实现各种计算,同样也较为复杂。在此,笔者推荐利

用 Matlab 作为相关性分析工具。Matlab 是 MathsWorks 公司的产品,它以矩阵为基础,把计算、可视化、程序设计有机地融合到了一个交互的工作环境中,可以实现工程计算、数据分析及可视化、科学和过程绘图等功能。

利用 Matlab 的数学函数和矩阵函数以及绘图函数,可以完成向量的平均值、标准偏差、向量间的相关系数、矩阵的特征值和对应的特征向量等计算工作,同时还能将数据可视化。此外,MathTools 公司还利用 Matcom 技术编写了 Mideva 工具软件,它可以借用 C++ 编译器将 Matlab 下的 M 文件转换为可被 VB、Delphi 调用的 DLL(动态链接库),也可编译为独立的标准可执行文件,不需装载任何附加产品。因此,相关性分析时可以采用熟悉的工具编写自己喜爱的界面风格,而利用 Matlab 完成复杂的数学计算。

5 结束语

汽车车体的尺寸精度控制是一个非常复杂的问题,它将涉及到冲压、装焊工艺设计、焊接接头设计、夹具定位夹紧优化、在线检测等复杂的问题。本文结合工程实践,仅讨论了测量数据的数学处理方法,以及如何

利用相关系数矩阵的最大特征值和相应的特征向量判断尺寸波动的主要模式,提出了利用计算机软件进行相关性分析的具体解决方案。要想提高车体的尺寸精度,还需结合工程技术人员的工程背景知识和车体的焊接工艺,根据一定的分组方法,将相关性强的点分成若干组,从而准确地查找到有误差的根源,采取相应的措施以保证车体的制造质量。

参考文献:

- [1] 胡仕新. 美国汽车车体装配与焊接研究现状[J]. 中国机械工程, 1996, 8(1): 24-26.
- [2] 刘青. 汽车车身装焊误差产生的原因分析及控制[J]. 汽车技术 2000, (8): 21-23.
- [3] 林忠钦, 胡敏, 陈关龙等. 轿车车体装配偏差研究方法综述[J]. 机械设计与研究, 1999, (3): 58-60.
- [4] 唐寅. 两毫米工程与压毫米冲压[J]. 汽车技术, 2000, (3): 16-18.
- [5] 金举, 来新民, 陈关龙等. 在线检测技术在车身焊装生产中的应用[J]. 汽车技术, 2000, (2): 26-28.
- [6] Dr. SHI JIANJUN, A Final Report for the ZJ "2mm Program" Variation Reduction for Body Assembly[C]: Methodologies and Case Study Analysis, 1994.

The Bodywork Dimension Precision Control Based on Correlation Analysis

CHEN Meng, XU Zong-jun, GUO Gang

(Department of machine Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: This paper studies how to improve the quality of automobile bodywork. The complexity of bodywork decides variety of it's error. The station and primary factor which cause error is inconstant change and using correlation analysis can find out the primary factor. With an project given, the theory of correlation analysis for dimension variation of bodywork is discussed through correlation analysis and the layer structure of the bodywork, the state in which the error happened can be found out. How to use eigenvalue and eigenvector of correlation matrix to judge the mode of dimension variation is also discussed. The max eigenvalue and it's eigenvector embodied the primary mode of dimension variation, which is caused by the primary reason which should be especially controlled. Finally, the approach of applying computer for analysis is pointed.

Key words: body-in-White (BIW); dimension; correlation

(责任编辑 成孝义)