在线测量技术在白车身柔性化生产中的应用

杨军

（北京奔驰汽车有限公司，北京 101300）

摘要：针对柔性化装焊生产线在线测量系统，说明了系统组成、基本测量原理、系统控制原理，明确了系统精度要求，以实现尺寸测量值的校准和补偿。测量数据可视化管理系统IQ-VIS的使用，进一步协助车间快速高效地进行白车身尺寸精度分析和变化趋势的预判，通过设置超差报警功能，实现对车身尺寸三级公差的智能化管理和质量控制，可显著降低不良车身对后续工序的影响。

关键词：在线测量　白车身　机器人　测量传感器

中图分类号：U468.21；U466　　**文献标志码：**B　　**DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20240054

Application of In-Line Measurement Technology in BIW Flexible Production

Yang Jun

（Beijing Benz Automotive Co., Ltd., Beijing 101300）

Abstract: This paper introduces system composition, basic measurement principle and system control principle of the in-line measurement system used in BBAC body shop flexible production line, and defines the commissioning requirements for system accuracy guarantee to realize the calibration and compensation of dimensional measurement values. The use of the visual management system IQVIS further assists the body shop to quickly and efficiently analyze the dimensional accuracy of the body in white and predict the changing trend. By setting the out-of-tolerance alarm function, the intelligent management and quality control of the three-level tolerance of the body dimension can be realized, which can significantly reduce the impact of defective body on the subsequent processes.

Key words: In-line measurement, BIW, Robot, Measurement sensor

1　前言

车身尺寸精度是汽车生产制造过程中较为关注的质量指标之一，综合反映了主机厂产品研发和生产制造过程的水平，因此，白车身尺寸精度的有效控制尤为重要。

传统的车身尺寸检测采用三坐标测量机（Coordinate Measuring Machine，CMM）测量和线下检具手工测量的方式[1]，需要车身离线检测，测量频次低、周期长，无法适应现代化智能制造的要求，全面使用高效率、高精度的在线测量系统以实现对白车身尺寸的实时监控是非常必要的。

某生产线在设计时规划引入基于激光扫描的非接触式视觉在线测量技术，以提高生产效率，减少车身制造过程中尺寸波动导致的不良品流出，实现对车身尺寸的精准控制和波动趋势的精准判断。

2　在线测量在某生产线中的应用

如图1所示，某焊装车间生产线Z1、Z2、Z3区域共计规划13个在线测量工位，对所有的关键总成（前端总成、后端总成、下车体总成、侧围外板总

作者简介：杨军（1986—），男，工程师，硕士学位，研究方向为汽车制造、白车身柔性制造技术、白车身线体规划。

参考文献引用格式：

杨军. 在线测量技术在白车身柔性化生产中的应用[J]. 汽车工艺与材料, 2024(11): 63-72.

YANG J. Application of In-Line Measurement Technology in BIW Flexible Production[J]. Automobile Technology & Material, 2024(11): 63-72.

成-左/右、车身 Z2.3 总成、所有外覆盖件总成）100% 配备车身尺寸在线测量系统。车间生产分为 2 条独立生产线，一条为 2+0 两车型柔性的燃油车生产线，一条为 3+1 三车型柔性的电动车生产线，均同时规划对所有分总成进行测量的能力。

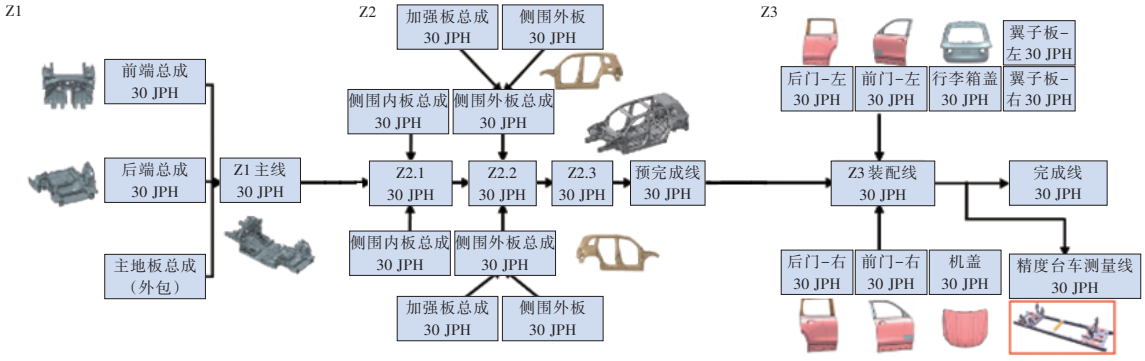


图 1 某生产线在线测量分布

要实现多车型共线，就必须满足不同车型白车身下部的定位需求。当各车型差异较小时，可直接采用传统气缸机械切换的方式；当多车型地板定位孔位置差异较大时，机械切换方式将不再可行。本文针对 3 车型（SUV+轿车）电动车生产线设计使用高柔性伺服定位装置（NC Locator），其 X 轴实现纵向往复移动，Y 轴实现横向往复移动，Z 轴实现升降往复移动，如图 2 所示。根据不同工件的定位孔位置，以伺服电机作为驱动机构，通过控制系统程序控制其运动轨迹来调整 X、Y、Z 轴，由 Z 轴顶端的定位销或夹紧单元气缸完成定位装夹任务，以实现精确定位，其实际精度可达 ±0.1 mm，根据 NC 型号不同，最大可达范围达 400 mm。

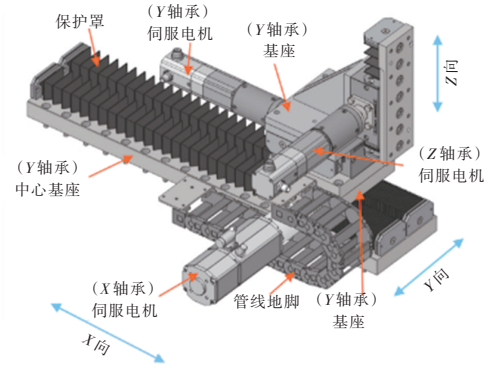


图 2 高柔性伺服定位装置

以前端总成在线测量工位为例，传统设计三车型测量需单独设计和放置 3 台检测夹具以适应不同车型分总成，占地面积大。而如图 3 所示使用 NC Locator 后仅需设计 4 个高柔性定位单元集成在 1 台检测夹具上，极大减少了设备占地面积。当 PLC 传递车型信号给 NC 单元后，定位销或夹紧单元将依据车型程序自动移动到匹配车型的坐标定位位置，接着抓件机器人将前端分总成零件放置在检测夹具上后，测量机器人即可启动测量程序。

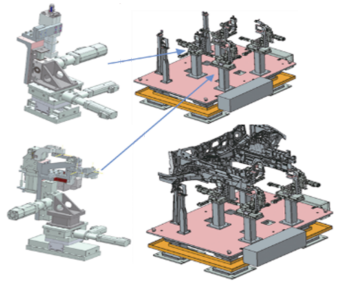
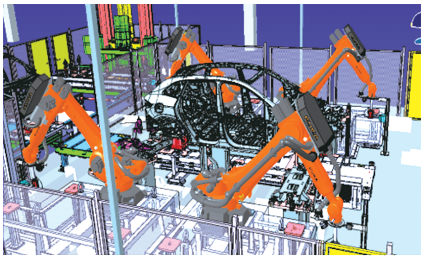


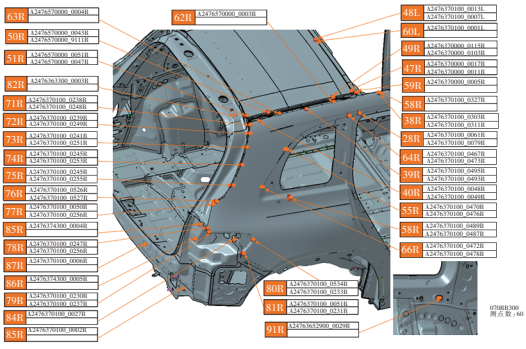
图 3 带 NC Locator 的三车型检测夹具

测量程序的设计需在满足生产线节拍的前期下规划，以燃油车 2+0 两车型为例，设计生产节拍 18 JPH，生产净节拍主线为 153 s，在满足规划节拍为时间前提下，Z1 和 Z2 的在线检测系统能够在正常生产工艺环节内对总成进行 100% 测量。Z3 外覆盖件设计为多车型批次生产模式，节拍为 76 s，由于其生产节拍较高故需保障最低 20% 的测量频次。以 Z2.3 在线测量工位为例（图 4），工位间使用精度台车输送+升降机构定位，时间为 62 s，机器人单点测量时间约为 3 s，计算得出单台机器人 1 个节拍内可测量点最大多 30 个。本工位规划 4 台在线测量机器人，在设计节拍内可测量总计 120 个点，而车身尺寸重点控制点为 240 个，因此，将所有测量点分为 A、B 程序进行控制并设计其可在 2 个节拍循环内完成全部测量。测量点选取需重

点考虑后续装配功能点、关键工序点、产品特征点等，在本工位测量点集中在车身前端定位、侧围定位、铰链安装点、尾门和尾灯的安装点等[2]。



（a）Z2.3 在线测量工位



（b）Z2.3 机器人测量点

图 4　装焊生产线 Z2.3 在线测量工位规划

3　在线测量系统组成和技术原理

3.1　系统组成

在线测量系统主要是由测量机器人、测量传感器、工装夹具、检测校准机构、测量系统控制柜、可编程逻辑控制器（Pragrammable Logic Conrtoller，PLC）、数据分析软件及辅助设施等组成[3-4]，发动机罩总成生产线在线测量工位如图 5 所示。

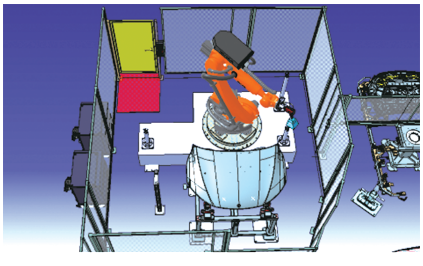


图 5　发动机罩生产线在线测量示意

系统组成如下：

a. 测量机器人。使用德国库卡 KR180 R2900 prime 系列机器人，并提前预装测量工具软件包，机器人管线包和测量传感器安装在其 1-6 轴上，由于测量点多、轨迹复杂，需要保证管线包系统的稳定性。在测量过程中，机器人和 PLC、测量控制系统间相互通信，最终完成测量工作。

b. 测量传感器。焊装生产线有 2 个电气规划标准 Integra 5 和 Integra 6，分别对应使用 2 个品牌的传感器 ISRA 和 Perceptron（图 6），均由视觉相机和激光发射器组成。其中 Perceptron 3D 传感器擅长测量难测的特征，如大孔、螺纹螺母和螺栓等，有多种尺寸供选择。此外，可通过编程扫描密度、激光线的长度和方向，在一个位置捕获多个零件特征来确保零件或过程信息的精确和重复性。2 种测量传感器采购成本接近，仅是由于生产线电气设计标准要求不同而选择不同品牌的传感器。



（a）ISRA 传感器



（b）Perceptron 传感器

图 6　ISRA 和 Perceptron 传感器

c. 测量系统控制柜。控制柜是测量系统的核心部件，承担着数据接收、数据分析、参数设置以及与机器人/PLC 之间的交互通信等任务，主要由图像处理系统、计算机等组成。

d. 测量工装夹具。根据不同的零件级别需设计对应的工装夹具，以保证零件的重复测量精度。工装夹具的定位基准和零件的定位基准保持一致，并与 CMM 采用的测量基准相同。Z1 下车体总成、车身 Z2.3 车身总成由精度台车输送到工位后，升降机构将白车身和精度台车分离，放置到定位工装夹具上进行精定位。其他分总成，如侧围外板总成、外覆盖件总成等均由机器人抓取后放置在单独设计的测量工装夹具上进行精定位测量。

e. 检测校准机构。依据 2 种电气规划标准的

不同，现场有 2 种形式的校准机构（图 7），一种为 9 面体金字塔形式的校准块（共用 2 个立柱，单独立柱 B，立柱 A+侧面的立柱 C），一种为空间 4 球形结构（共有 3 个单独测量立柱）。

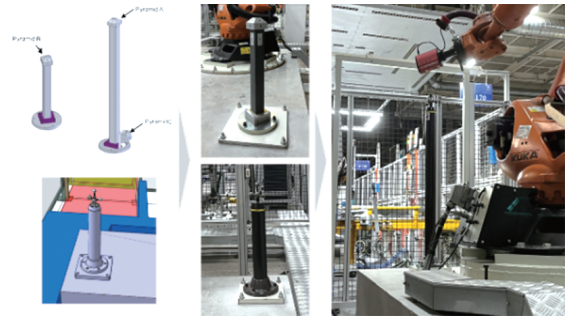


图 7　ISRA 和感知器校准机构

f. PLC。负责测量系统的信息传输、信号传递，并将车型信息告知测量机器人，以调取相应的测量程序。

h. IQ-VIS 数据分析软件。负责所有测量数据的最终查询、统计和公差分析，可以直观地展示数据进行日常分析，其可按标准设置上/下偏差值进行预警管理，当超差后，可以实现感知器报警和机器人停止测量来提醒尺寸工程师进行干预和分析。

i. 辅助设施。除主要测量设备以外，需构建部分辅助设施以满足测量要求，包括护布遮挡和混凝土基座。强烈的太阳光照射和反射将导致传感器无法正常测量，需在工位中使用防护布整体遮盖以消除光漫反射的影响，如图 8 所示。技术标准要求每个在线测量机器人下方安装混凝土基座以消除厂房地面条件的影响（图 9），此外，在线测量工位应避免设置于存在地面伸缩缝的位置。混凝土基座和机器人之间也要由钢板连接，如机械连接不稳定，将直接导致测量数据不准确。



图 8　在线测量工位防护布示意

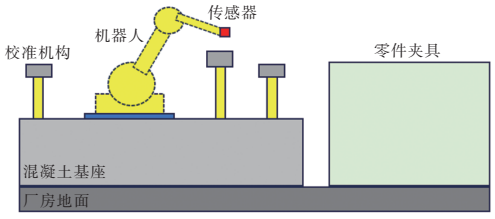


图 9　在线测量工位混凝土安装示意

3.2　技术原理

3.2.1　测量原理

测量系统运行时，传感器测头内部的发射器发出的激光直接扫描到零件轮廓上后，光束会发生反射并反馈至镜头后成像于电荷耦合器件（Charge Coupled Device，CCD）（成像屏幕）上形成可测量的数字化图像[5]，通过反射光的角度、几何距离等，并结合三角法计算原理、图像数据处理技术即可得到被测零件与传感器的实际距离（图 10），轮廓线在 CCD 中形成线条的位置随零件表面的三维空间位置变化而变化。

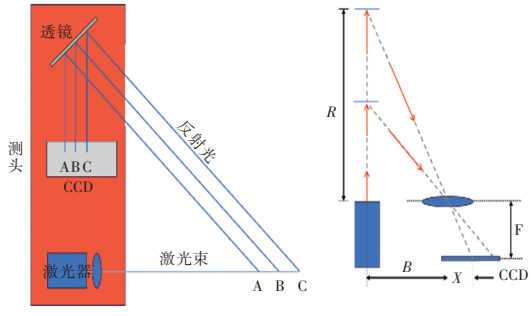


图 10　三角测量原理

典型的三角测量原理公式为[6]：

$$R = B \times F / X \tag{1}$$

式中：B 为激光发射器光轴和接收透镜光轴的间距，F 为接收透镜的实际焦距，X 为接收图像点和透镜光轴的间距，R 为零件被测距离。

B 和 F 可提前测得，因此只要测出 X 的实际值，就可通过式（1）计算出 R。X 可通过高分辨率的 CCD 测量测量传感器在设备出厂前需进行标定，确保视野范围内的光线位置变动量均可被准确测量。

通过三角测量原理得到零件和传感器的距离后，依然需要通过全面的系统坐标转换才可以推导出白车身测量特征值的坐标值偏差：

$$(X,Y,Z)_{\text{sensor}} \cdot T \cdot B_X \cdot R_X = (X,Y,Z)_{\text{Car}} \tag{2}$$

式中：T 为机器人 6 轴法兰盘中心坐标系和测量

传感器坐标系的转换系数，B_X为机器人底座坐标系和车身坐标系的转换系数，R_X为机器人6轴法兰盘中心坐标系到机器人底座坐标系的转换（图11）。

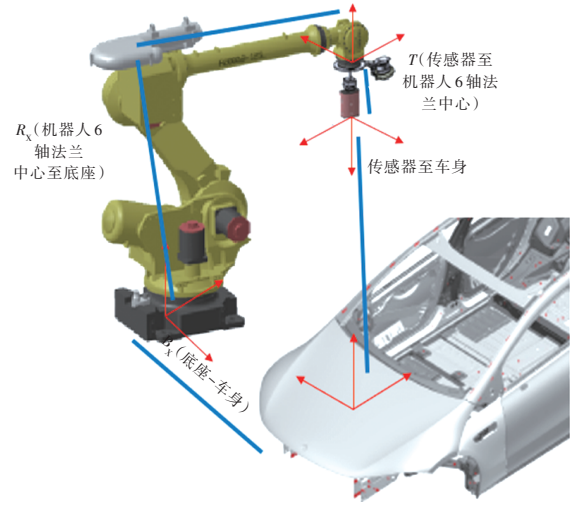
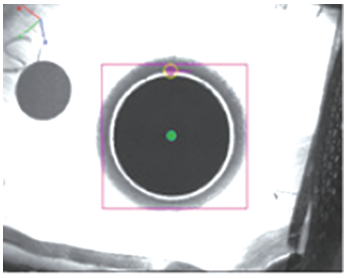


图11　测量坐标系转换示意

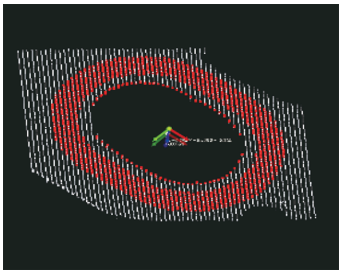
随着机器人的连续工作，电动机内部温度升高，将使测量精度下降，TCP产生漂移现象，测量误差将增大。规划在测量机器人周围安装3个校准机构，机器人每完成一个测量循环即对其中一个基准进行测量，规划3个节拍完成3组校准温度的补偿，以修正和补偿温度变化导致的TCP漂移和测量误差，通过基准球的测量重新拟合一个动态变化的机器人模型，并用此模型来补偿白车身尺寸的测量值，以消除温度波动对测量结果的干扰[5]。

出现T和B_X在初次标定后一般不再发生变化，只有R_X由于机器人温度变化而导致坐标值出现偏移和波动，可通过温度补偿测量即基准的定期校准和修正来确定最终的坐标系。

2种测量传感器系统的测量原理略有不同。ISRA测量系统拍摄照片后根据灰度识别特征的轮廓进而计算其位置，整个测量过程快速高效。如图12所示Perceptron测量系统利用传感器发射的激光线由上至下进行扫描，生成一系列激光线组合成3D点云后识别轮廓进行位置计算，此扫描点云可以测量的特征点更加丰富，测量精度更高。不同特征的扫描时间取决于扫描零件的范围大小，一般不超过2 s，其相对于ISRA直接拍照方式的测量速度稍慢。



（a）ISRA扫描照片



（b）Perceptron扫描照片

图12　测量点扫描原理

3.2.2　系统控制原理

测量过程的基本控制原理如图13所示，当车身或者分总成传输至测量工位后，PLC将识别的车型信息传递至测量控制器。测量控制器依据车型信息调用对应的测量子程序，并经过内部通信模块IQ.Rob传递程序信息至机器人。IQ.Rob作为数据传输中枢，起着协调机器人、测量系统、图像处理系统的关键作用。然后机器人启动测量程序进行车身或分总成的测量，测量传感器将测量特征、测量角度等信息通过IQ.Rob实时传递至RoVis图像处理系统，两者间通过基于TCP/IP协议接口进行通信。RoVis为用户提供了直观和清晰的数据组展示，表格式的数据排列允许用户对其进行快速的参数化处理。光学传感器SGS3D获取检测点信息，并利用数学处理算法对测量图像进行评估和计算。待IQ.Rob收集完所有的测量数据、机器人温度补偿等后再集中传递至测量控制器，测量控制器一方面将测量数据结依据已设定的公差和判断结果反馈至PLC进行车辆放行或报警，另一方面将测量数据传输至用户的终端电脑并利用IQ-VIS软件进行可视化分析。

3.2.3　在线测量精度

现场使用的在线测量技术是以工艺监控为目的的相对尺寸测量系统，其测量技术及测量结果建立在机器人运动轨迹校准的基础上，因此需要

与质量部门 CMM 的测量结果进行相关性校准，即用更高阶的、更准确的测量结果进行验证、定期校准以获得更精确的测量数据。车身或分总成的重复精度由工装夹具保证，机器人测量轨迹的准确性由机器人的重复精度保证。现场使用的 3D 扫描传感器的测量精度为±0.05 mm，使用的库卡机器人重复定位精度为±0.2 mm，工装夹具的定位精度为±0.1 mm，可得出在线测量系统的综合重复性精度 σ 为 $\pm\sqrt{0.05^2+0.2^2+0.1^2}=\pm0.23$ mm。

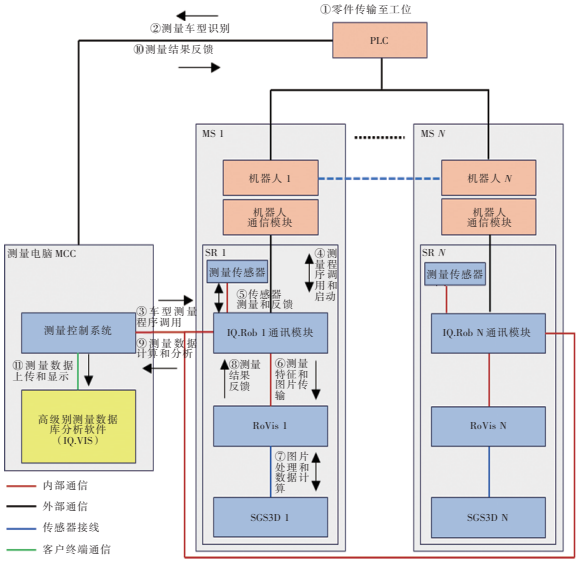


图 13 测量控制原理

3.3 调试要求

在线测量系统在正式启用前，需进行大量的调试和验证工作，只有当系统的重复性、稳定性和准确性得到保证后，才具备最终使用条件[7-9]。具体的测量调试包括如下步骤：

a. 稳定性测试。测量过程中要求定位工装和车身或分总成不分离，一直处于静态夹紧的工况下，机器人对车身或分总成进行 50 次重复测量，以验证测量设备的能力。基于测量系统分析（Measurement System Analysis, MSA）测量方法 1 的要求[10]，所有测量点的重复精度能力系数 $C_g\geq1.67$ 即视为结果合格有效[11]（表 1）。

b. 动态性测试。测量设备的测量能力需要考虑工装夹具精度的影响，测量过程中车身或分总成进入工位后，按程序完成定位、夹紧、测量、传输至下一工位步骤，整个测量过程需和正常系列化生产工序保持一致，要求相同的测量程序、机器人测量角度、测量距离等，整个测量需重复进行 25 次。基于 MSA 测量方法 1 的要求，所有测量点的重复精度能力系数 $C_g\geq1.33$ 即视为结果合格有效（表 2）。车身输送过程分为 2 种情况：车身由精度台车输送至测量工位后，接着升降机构将车身举起放置到定位工装夹具上；下车身或各侧围、车门、发动机罩等分总成由机器人直接抓取放置到测量工装夹具上。

c. 偏移测试。将车身或者分总成输送至测量工位后，进行 5 次重复性测量作为基准值。然后将车身或分总成向坐标轴 X、Y、Z 每个方向分别单独偏移±2 mm，偏移过程可通过移动机器人底座坐标来实现，最后再次对车身或分总成进行 5 次测量。如果最终理论计算的偏移量和实际测量偏移量的偏差在±0.2 mm 以内即证明测量结果合格有效（表 3）。

表 1 静态测试结果

测量点	坐标方向	范围/mm	平均值/mm	Sigma	上限/mm	下限/mm	样本数	C_g	评价结果
A1776252500_0003L	dX	0.04	1.41	0.010	1.00	−1.00	50	10.20	合格
A1776252500_0003L	dY	0.03	0.46	0.006	1.00	−1.00	50	16.95	合格
A1776252500_0003L	dZ	0.04	−1.11	0.008	1.00	−1.00	50	13.16	合格
A1776252500_0003R	dX	0.05	−0.35	0.011	1.00	−1.00	50	8.93	合格
A1776252500_0003R	dY	0.03	0.18	0.007	1.00	−1.0	50	15.15	合格
A1776252500_0003R	dZ	0.05	−4.05	0.013	1.00	−1.00	50	8.00	合格
A1776260000_0001L	dX	0.10	−1.37	0.023	1.00	−1.00	50	4.27	合格
A1776260000_0001L	dY	0.10	−2.39	0.018	1.00	−1.00	50	5.43	合格
A1776260000_0001L	dZ	0.05	−1.34	0.013	1.00	−1.00	50	7.94	合格

表2　动态测试结果

测量点	坐标方向	范围/mm	平均值/mm	标准和偏差	上限/mm	下限/mm	样本数量/个	C_g	评价结果
A1776252500_0003L	d*X*	0.05	1.36	0.012	1.00	−1.00	25	8.55	合格
A1776252500_0003L	d*Y*	0.05	0.50	0.012	1.00	−1.00	25	8.20	合格
A1776252500_0003L	d*Z*	0.03	−1.06	0.010	1.00	−1.00	25	10.53	合格
A1776252500_0003R	d*X*	0.03	−0.34	0.008	1.00	−1.00	25	12.66	合格
A1776252500_0003R	d*Y*	0.04	0.20	0.010	1.00	−1.0	25	10.31	合格
A1776252500_0003R	d*Z*	0.03	−4.02	0.007	1.00	−1.00	25	14.08	合格
A1776260000_0001L	d*X*	0.07	−1.46	0.016	1.00	−1.00	25	6.41	合格
A1776260000_0001L	d*Y*	0.05	−2.32	0.014	1.00	−1.00	25	7.35	合格
A1776260000_0001L	d*Z*	0.05	−1.28	0.013	1.00	−1.00	25	7.94	合格

表3　偏倚测试结果　　mm

测量点	+*X*	−*X*	+*Y*	−*Y*	+*Z*	−*Z*	差异	评价结果
A1776252500_0003L	−2.01	1.99	−1.99	1.99	−2.00	2.02	0.02	合格
A1776252500_0003R	−2.00	1.99	−1.99	2.01	−2.01	2.04	0.04	合格
A1776260000_0001L	−2.00	1.99	−2.04	1.99	−2.02	1.98	0.04	合格
A1776260000_0001R	−2.03	2.03	−2.00	2.02	−1.94	2.00	0.06	合格
A1776260000_0003L	−1.90	2.01	−2.03	1.97	−2.03	2.03	0.10	合格
A1776260000_0003R	−2.02	1.98	−2.00	2.03	−1.95	2.03	0.05	合格
A1776260100_0006L	−2.01	2.00	−2.01	1.99	−1.95	1.96	0.05	合格
A1776260100_0006R	−2.04	2.02	−1.97	1.98	−1.98	2.03	0.04	合格

d. 重复性及再现性测试。考虑零件精度对测量系统的影响,至少安排5台车身或分总成进行测试。车身或分总成进入工位后,完成定位、夹紧、测量、传输至下一工位,整个过程重复进行4次。基于MSA测量方法3的要求,如果最终所有测量点的重复性和再现性代表值%*EV*或%*GRR*数据在0~20%之间,即视为测量系统设备的检测能力合格有效(表4)。

表4　重复性及再现性测试结果

测量点	坐标方向	上限/mm	下限/mm	样件1/mm	样件2/mm	样件3/mm	样件4/mm	样件5/mm	样件平均值/mm	重复性/%	评价结果
A1776252500_0003L	d*X*	1	−1	0.032	0.034	0.046	0.031	0.044	0.037	4.08	合格
A1776252500_0003L	d*Y*	1	−1	0.058	0.041	0.066	0.044	0.045	0.051	5.54	合格
A1776252500_0003L	d*Z*	1	−1	0.026	0.016	0.01	0.018	0.02	0.018	1.96	合格
A1776252500_0003R	d*X*	1	−1	0.047	0.054	0.082	0.049	0.036	0.054	5.85	合格
A1776252500_0003R	d*Y*	1	−1	0.071	0.037	0.038	0.054	0.036	0.047	5.15	合格
A1776252500_0003R	d*Z*	1	−1	0.048	0.013	0.016	0.021	0.035	0.027	2.90	合格
A1776260000_0001L	d*X*	1	−1	0.031	0.1	0.074	0.119	0.018	0.068	7.47	合格
A1776260000_0001L	d*Y*	1	−1	0.061	0.045	0.089	0.059	0.058	0.062	6.81	合格
A1776260000_0001L	d*Z*	1	−1	0.183	0.101	0.09	0.079	0.016	0.078	8.47	合格

e.Correlation 相关性测试。通过对 5 台车身或者分总成的在线测量数据和质量部门三坐标测量结果进行比对，如果有 90% 测量点的差异幅度≤0.2 mm 即认为测试通过。

f. 耐久性测试。对车身或分总成进行 24 h 不间断测量，测量过程中要求定位工装和车身或分总成不分离。测量从机器人冷启动状态下开始进行，整个测量过程无测量报错或故障即视为测试通过。

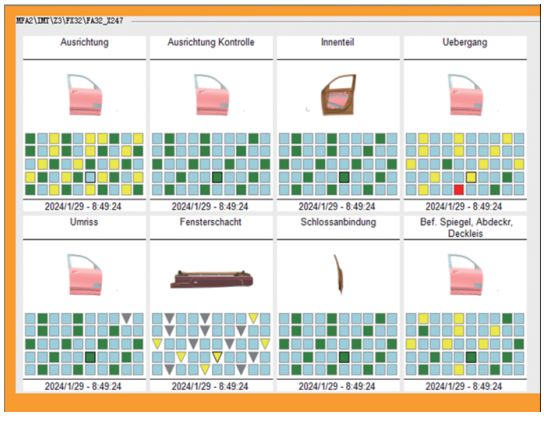
g. 温度补偿测试。测试目的为验证机器人温度补偿的有效性，测试从机器人冷启动状态下开始不间断连续测量 4 h，测量过程中定位工装和车身或分总成不分离。机器人对校准机构进行测量以补偿温度偏差，所有测量数据曲线和机器人运行工作温度曲线一一对应进行分析。最终如果无测量系统报错、测量值无异常波动或测量值正常波动范围在 ±0.2 mm 内即视为测试通过。

3.4 测量数据分析和管理

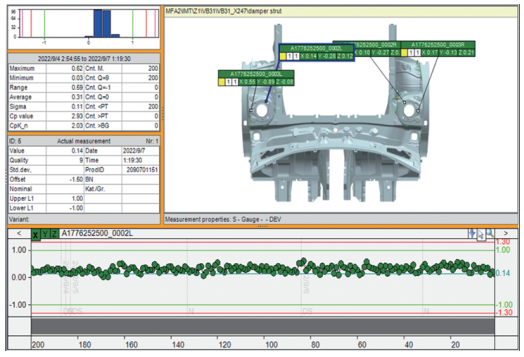
在线测量系统持续输出大量的测量数据，为此需建立有效的数据管理系统对数据进行整理、可视化和计算分析，便于对车身尺寸数据进行检查，对异常波动和精度变化趋势进行预警管理。

3.4.1 IQ-VIS 数据分析

如图 14 所示，IQ-VIS 软件广泛应用于焊装工艺过程在线测量系统的白车身尺寸测量数据输出，其可作为数据库单独使用，也可用于数据采集、在线监控、可视化显示和分析生产过程中车身质量相关的测量数据和存储等。系统软件拥有完整的数据库、结构树、界面显示、公差设置等功能[12]。



（a）IQ-VIS 零件尺寸状态显示



（b）IQ-VIS 可视化分析报告

图 14 IQ-VIS 软件示意

IQ-VIS 系统软件主要提供以下要功能：

a. 在线测量监控，通过使用不同颜色和形状的色块代表测量零件的尺寸状态，每个色块代表一个零件，通过设置可显示最新的 50 件零件状态。绿色代表尺寸处于公差范围内结果合格，黄色代表超 1 级公差，红色代表超 2 级公差，深红色代表超 3 级公差。正方形代表测量成功，三角形代表测量失败。

b. 分析评估，该功能可选择固定时间内前 10 位的超差报警质量停止报警（Quality-Stop，Q-stop）数据，通过问题清单能直观看到问题点、报警次数、问题工位及占比情况，提醒工程师及时进行干预并采取有效优化措施。

c. 可视化报告，通过数据统计和整理将某个零件的测量点在一定时间内所有测量值的变化趋势输出报告，用于零件尺寸状态追踪，便于对产品质量和设备过程能力进行预测和控制。

d. 数据比对，可实现测量数据与三坐标数据的对比分析，输出一致性评估结果，并协助进行相关性校准。

3.4.2 相关性校准

相关性测试完成后，为保证在线测量数据的可靠性，仍需定期将在线测量的数据与质量部门 CMM 测量数据进行相关性比对。对于数据有偏差的测点，在对比过程中，软件会自动生成偏移值，将其导入在线测量系统调整在线测量的数值，使之更贴近于精度更高的三坐标数值[13]。表 5 所示为精度台车部分点相关性校准示例，在线测量和三坐标测量系统的偏差值全部在 -0.08~0.1 mm 范围内，满足 ±0.2 mm 的质量要求，两者测量系统

的相关度较高,通过对其偏移值的设置和优化,可使其结果无限趋近三坐标测量。

表5　相关性测量值校准　　mm

测量点	感知器测量数据						激光跟踪测量数据						感知器测量平均值	激光跟踪测量平均值	补偿值
A247000_i_0001L[*X*]	−0.18	−0.17	−0.15	−0.19	−0.22	−0.17	−0.17	−0.17	−0.08	−0.08	−0.08	−0.08	−0.18	−0.11	−0.07
A247000_i_0001L[*Y*]	−0.02	0.01	0.03	0.02	0.09	0.01	0	0	0	0	0	0	0.02	0.00	0.02
A247000_i_0001L[*Z*]	0.01	0.03	−0.01	−0.02	0.05	0.02	0	0	0	0	0	0	0.01	0.00	0.01
A247000_i_0001R[*X*]	−0.19	−0.2	−0.2	−0.23	−0.29	−0.22	−0.19	−0.19	−0.15	−0.15	−0.15	−0.15	−0.22	−0.16	−0.06
A247000_i_0001R[*Y*]	0.04	0.06	0.05	0.03	0.11	0.07	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.00
A247000_i_0001R[*Z*]		−0.01	0	−0.01	−0.01	−0.03	0	0	0	0	0	0	−0.01	0.00	−0.01
A247000_i_0002R[*X*]	−0.35	−0.03	−0.25	−0.34	−0.42	−0.27	−0.31	−0.13	−0.28	−0.35	−0.42	−0.26	−0.28	−0.29	0.02
A247000_i_0003L[*X*]	−0.23	0.09	−0.24	−0.37	−0.68	−0.49	−0.2	0.1	−0.07	−0.23	−0.62	−0.45	−0.32	−0.25	−0.08
A247000_i_0003L[*Z*]	0.96	1.06	0.69	1.49	0.68	0.95	0.95	1	0.72	1.46	0.65	0.89	0.97	0.95	0.03

3.4.3　测量系统报警Q-stop

在线测量系统的使用可精准和实时反馈车身尺寸的数据波动,通过对数据的检查和分析可对车身生产线进行动态监控。当个别测量点出现异常时,需设置应急反应流程和相关的设备报警来提醒现场进行人工干预和分析。要实现此目的,首先需进行公差范围的设定,车身在线测量按照三级公差管理和设定。一级公差为产品设计公差,与三坐标的公差保持一致,当车身数据超差时,设备不需停线报警,如图15所示一级公差为±1.0 mm。二级公差为预警公差,主要目的为提示测量点偏差超限,针对每个车身零件和测点位置的不同,工程师可在测量系统软件内智能化定义设备停机报警前连续测量超差数量。项目调试阶段可严格设置每个件出现二级超差即设备Q-stop停机,待后期设备调试稳定后,可逐步将此频次放宽至连续2~3件,图15中二级公差为±1.3 mm。三级公差为停机报警公差,所有车身件和测量点每次出现三级超差后,设备立即Q-stop停机,需即刻对故障进行检查和分析,图15中三级公差为±1.5 mm。测量报警Q-stop功能的开启和使用,可有效避免批量尺寸波动的问题车身传递至后续喷漆和总装而影响系列化生产的正常工艺装配,对提高车身质量和精度、识别不合格品提供了有效的管理识别工具[1,14]。

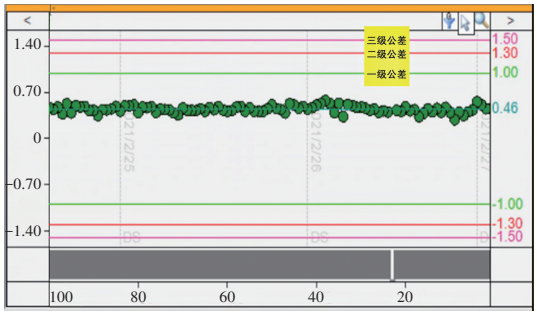


图15　某工位在线测量数据公差管理

4　结束语

某焊装生产线通过在线测量监控技术的成功引入和使用,实现了对车身尺寸关键控制点的100%检测,有效规避了批量不良车的流转,提高了质量控制效率[15]。IQ-VIS数据分析软件可以快速有效地监控白车身尺寸的精度数据和波动趋势,为车身状态的稳定提供了数据基础和硬件保障。在线测量检测过程中的时效性、稳定性、高精度以及高智能化都是现代化智能制造的卓越体现,是未来重点发展和深度开发的方向。

参考文献:

[1] 李红华, 张旭光, 李成伟, 等. 机器人式激光在线检测技术在某商用车焊装线上的应用[J]. 汽车工艺与材料, 2018(12): 15-19.

[2] 胡浩, 胡博, 张剑. 智能在线检测技术在焊装生产线的应用[J]. 汽车零部件, 2022(8): 65-69.

[3] 张艳清 . 3D 在线测量系统在白车身上的应用现状[J]. 设备管理与维修, 2020(5): 121-123.

[4] 张荣新 . 白车身在线测量测点及分组研究[J]. 机械工程师, 2019(12): 139-140+144.

[5] 秦红生, 宋仁军, 朱佳 . 浅谈车身激光在线检测系统[J]. 汽车制造业, 2021(10): 31-32.

[6] 徐万和, 李忠新, 吴志林,等 . 基于激光三角测量原理的自动机运动测试方法[J]. 测量技术学报, 2010(3): 215-218.

[7] 袁绍波, 程忠, 马晓朋 . 激光在线测量在白车身制造过程质量控制中的应用[J]. 汽车工艺与材料, 2021(9): 60-64.

[8] 宋军 . 白车身几何特征参数在线测量方法研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018.

[9] 周波 . 测量系统分析在质量检测中的应用[D]. 河北: 华北电力大学, 2013.

[10] 杨朝盛 . 测量系统分析 MSA 实用指南[M]. 北京 : 机械工业出版社 , 2020 : 125-132.

[11] 靳朝举 . 基于 Perceptron 在线检测技术监控后尾灯安装孔稳定性[J]. 内燃机与配件, 2020(2): 199-200.

[12] 李劲, 刘淑艳 . 激光在线检测技术在白车身制造中的应用[J]. 汽车工艺与材料, 2010(12): 72-75.

[13] 邓悦星 . 基于激光测量技术和视觉测量技术的汽车零部件在线测量系统分析[J]. 现代制造技术与装备, 2023(1): 189-191.

[14] 秦绪军, 栾成, 张秋花, 等 . 基于 Perceptron AutoGauge 系统建立背箱开口局部坐标系下在线监控点[J]. 汽车工艺与材料, 2018(8): 69-72.

[15] 李金山, 李彦贺, 温强龙, 等 . 浅谈机器人在线检测技术在车身制造中的应用[J]. 汽车实用技术, 2018(8): 112-114.

AT&M