

焊装过程质量数字化提升方法探索

王东林 李森 赵飞 苏雷 方钢 范英男 赵卫鹏

一汽 - 大众汽车有限公司

摘要: 本文旨在研究整车制造企业中焊装车间白车身生产过程质量数字化提升方案, 主要针对焊接强度、表面及匹配三方面, 在制造过程和实物质量上探索通过数字化手段提升质量的路径。研究过程中通过多种视觉技术、数据采集和算法等技术手段, 开发出一系列具体应用, 实现质量的前置管理和实物质量控制。

关键词: 焊装; 视觉技术; 前置管理; 实物质量控制; 数字化创新

0 国内外白车身质量数字化现状

目前国内各大汽车企业都在竞相进行数字化变革。白车身质量控制对整车的美观和强度起着重要作用, 质量数字化监测手段作为其数字化重要手段之一, 目前已被大家充分认识并应用。

北京奔驰汽车有限公司的焊装车间, 基于工业互联网技术的大数据平台实现了工艺质量实时监控预测及可视化管理。开发了工艺质量实时监控、3D 可视化及智能预测等模块, 将质量管控大幅提前, 使质量管控更加精准, 大幅降低返修成本和员工检查强度。

北京现代沧州工厂通过仿真化模拟对员工操作进行优化, 降低人工作业带来的偶发性、随机性问题, 提升整车的质量状态。以顶盖安装工位为例, 采用了顶盖检测调整系统, 通过照相和红外测距对顶盖和左右侧围间隙、段差进行测量, 并根据测量的数据反馈至计算机进行分析, 自动计算出补偿调整值, 机器人可根据补偿值进行自动调整, 从而避免安装精度不足的问题。

新势力造车中, 数字化也和质量紧密结合。小米 SU7 使用了 100% 全自动四门两盖 + 翼子板自动装配, 在车身车间引入了全自动紫外光检测, 整车外观测量精度达到 $\pm 0.05 \text{ mm}$; 同时利用 X-Eye 智能质检系统代替人眼识别, 利用 X 光探伤技术, 拍摄照片, 并在 1 s 内指出缺陷, 判定零件是否符合标准。

奔驰公司与 VMT 长期合作率先在焊装装配领域通过多种视觉技术和拧紧实现了四门两盖翼子板自动装配, 自动化工艺水平处于全球领先地位。

1 焊装质量数字化总体战略架构

1.1 质量数字化整体分类

汽车行业焊装专业在质量维度主要包含强度、匹配和表面三个方面, 且在实际质量工作中主要面临三项痛点: 质量成本高、问题解决效率低以及质量缺陷多。

以行业通用单款车型为例, 在质量成本方面需要投入大量的人工成本 (如螺柱检查)、返修成本 (返修材料使用量大) 和报废成本。在问题解决效率方面, 常规缺陷从发现到彻底解决时间长, 过程缺陷车数多。在质量缺陷数量方面, 焊接类问题、人为匹配类问题以及技术类重复抱怨问题多。

1.2 质量数字化解决方法

为了解决以上痛点, 可运用数字化手段强化过程质量管理, 聚焦关键数据, 实现缺陷的前置预警。

通过对已有缺陷类型进行分析, 焊装领域在过程质量和产品质量方面主要涉及强度、匹配和表面三个维度。一汽 - 大众经过多年深入探索研究, 通过多部门通力合作, 采用大数据应用、机器学习、机器视觉、数字仿真、App 小程序和远程智联的方式, 从智慧强度、智慧匹配及智慧表面三个方面实现了有效降低质量成本、提升解决效率和降低产品缺陷率的成果。总体战略架构如图 1 所示。

2 焊装质量数字化典型场景案例

2.1 智慧强度项目展示

2.1.1 智慧点焊

过去对于中频点焊焊点的质量检查主要依靠人工



图 1 焊装质量数字化战略架构

目视，这种方式效率低下且耗能缺乏统计。实际生产中发生批量焊点质量缺陷问题较多，且焊接飞溅常造成设备损坏、耗材浪费、火灾隐患以及车身清洁度等问题。

为了解决此项问题，一汽 - 大众开展智慧点焊项目。

在项目 1.0 中，建立了 Q-stop 发生率、UIP 焊点质量评价、PSF 过程稳定性、PSQ 开启率、飞溅率以及铣削指数六个维度指标，自动评价焊点强度以降低隐患，提前开展精准目标工作，将焊点强度前置控制，并实现集中监控以提升效率，同时降低了焊接飞溅，消除了铣削不良引起的质量隐患。实现质量评价指标自动计算、详细内容网页查询和多平台矩阵推送。

在项目 2.0 中，首次运用人工智能算法对点焊设备、质量问题进行预测，提前发现问题开展工作，是一项零投资的综合性项目，填补行业空白。项目 2.0 实现焊点 100% 监控、分析，避免批量点焊缺陷提前、快速和准确发现问题，节约维护 / 返修工时、降低焊接设备 / 质量停台、节约维修 / 返修等成本。

2.1.2 智慧螺柱焊

后道工序中，螺柱类缺陷反馈较高，其中多为螺柱开、漏焊。康采恩检查标准明确提出，不允许使用手锤外力检查，只能目视检查，且其他方法（如螺柱喷墨）会产生大量耗材成本，因此一汽 - 大众积极探讨其他方式对螺柱强度、数量进行检测。

在焊接强度检查方面，将各螺柱焊点的相关信息（如工位号、焊点号、焊点位置和工件工艺照片等）进行汇总，

利用 Python 自主编程，自动抓取各螺柱焊机的报警信息，将有风险的螺柱投影在终检大屏幕上，提示终检人员对风险螺柱进行重点检查。同时可将设备故障信息与车号绑定，便于后续质量问题追溯，如图 2 所示。

在螺柱焊接数量检查方面，创新采用低成本摄像头和 Python 自主编程的方式，实现对车身螺柱数量的检查。首先通过摄像头对车身进行拍照，并将照片上传至计算机，然后通过 Python 程序分析照片，对比螺柱数量，并将结果反馈在终检大屏，当缺少螺柱时会自动报警并停线。

2.1.3 四门螺柱螺母检测

四门螺柱螺母经常出现漏焊、钣金冲不透问题，导致总装无法安装对应零件。且四门生产为自动线，员工无法实时监控螺柱螺母焊接状态，常导致缺陷流出。

一汽 - 大众采用 OpenCV（Open Source Computer Vision Library）开源计算机视觉和机器学习库，对工业相机采集到的工件画面进行处理。相机为动态采集，通过检测传送带上移动工件的特征轮廓来启动拍照，在获取到的图像上标定检测区域范围，通过该范围内的像素检测参数来生成像素坐标，该坐标与系统存储的标准工件图像进行比对从而实现检测判定，判定结果通过语音播报和程序（PLC 屏幕显示）连锁两种方式提示操作人员，识别出缺陷工件时 PLC 会传输信号给传送带控制系统，传送带会停止，需人工检查处理复位后方可恢复生产运行，如图 3 所示。

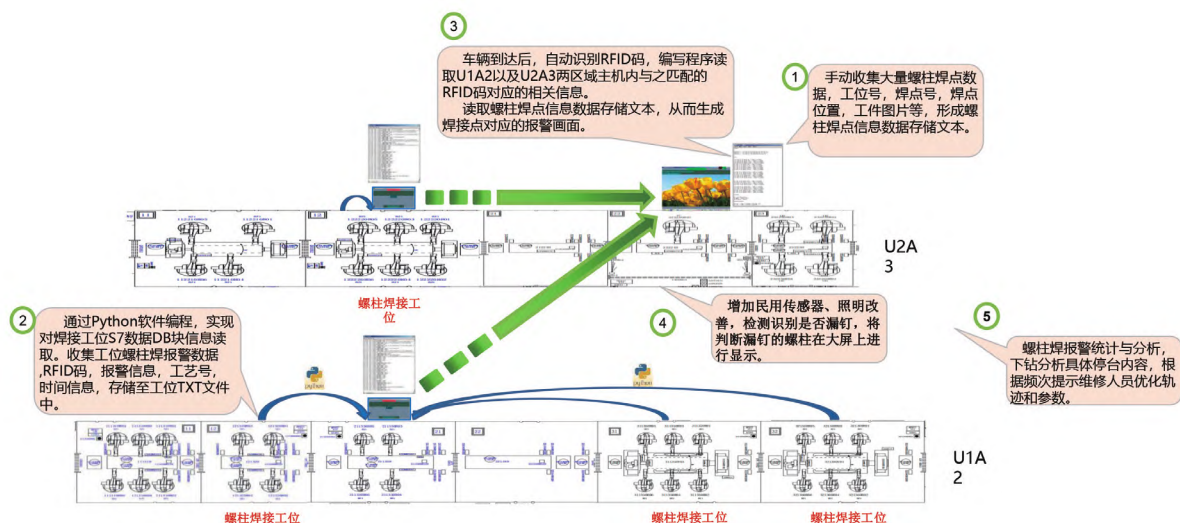


图2 螺栓焊点信息绑定



图3 四门螺栓螺母检测

3.2 智慧匹配项目展示

3.2.1 Matrix 数字化匹配分析系统

传统的测量报告数据形式单一，互为孤岛，无法实现系统上的连接，数据采集分析耗时耗力，对于数据也缺少深度挖掘，在日常监控、分析和追溯等应用方面，手段落后、效率较低。

以蔡司公司 Piweb 软件为基础，通过建模、赋值等方法实现大数据整合，以现场数据为基础，链接质保批量数据（单件、分总成和外协件测量报告），实现全过程测量数据整合，生成可视化图表，实现问题关联尺寸的自动抓取、展示、发送及预警。

3.2.2 门钢号追溯系统

装配白车身时，为实现车门追溯，采取手工记录钢号，存在漏填、错填情况，且钢号查看每人每台车下蹲2次，不符合人机工程。

通过我公司自主开发视觉识别系统，加装视觉识别，自动识别四门及后盖钢号，存储于 RFID，实现了门钢号与车身号的绑定、存档，可追溯，如图4所示。

3.2.3 3D 点云间隙面差测量

我们与大学合作研制算法和软件开发替代传统 cubing 检测方式的自动 3D 点云间隙面差测量，节省了大量投资，替代人工检测。系统通过多频外差原理技术、

单目结构光的三维重建技术、动态建系技术和 PC-GFM 法，使得静态测量精度达到 0.05 mm，半动态测量精度达到 0.2 mm，动态测量精度达到 0.3 mm，如图5所示。



图4 四门两盖钢号识别系统

3.2.4 后盖自动装配

针对当前后盖最复杂的工艺，利用8个ISV轮廓视觉传感器，测量后盖与车身位置，引导机器人完成最佳匹配，通过 Bestfit 技术方案，实现低成本自动化解决方法，在奥迪 Q5L 产线上实现2个车型的后盖自动抓取、自动装配、自动调整、铰链自动装配和拧紧功能，创新开发简化算法，如图6所示。

3.3 智慧表面项目展示

3.3.1 顶盖激光焊自动校正

顶盖激光焊工艺是大众集团的传统优势工艺，不

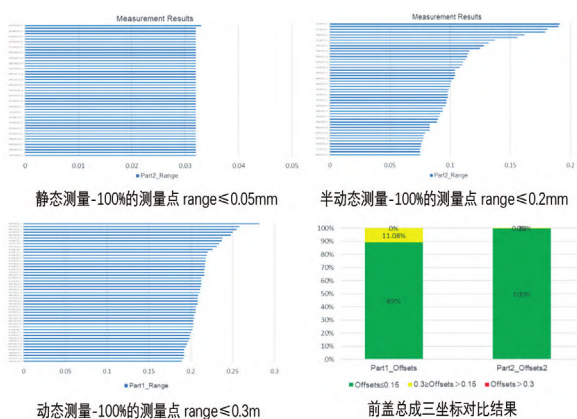


图5 3D点云间隙面差测试结果

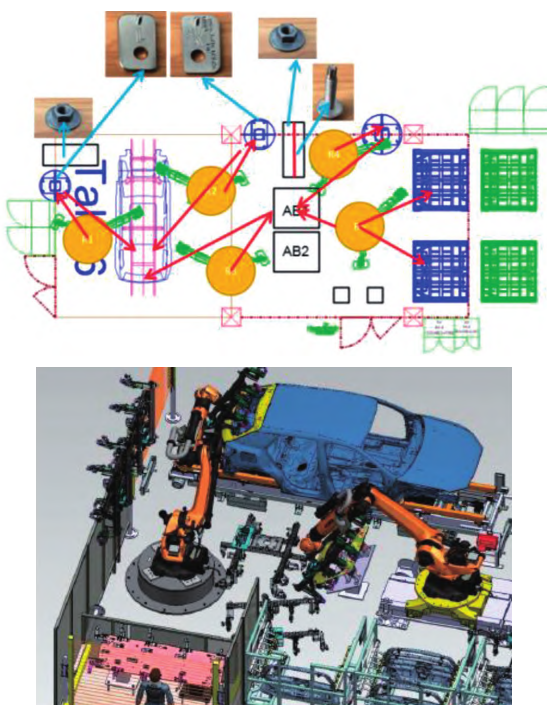


图6 奥迪 Q5L 后盖自动装配工艺

仅连接强度高于普通点焊，而且外观更加美观。由于焊接时对匹配、设备精度要求高，因此在实际生产中常出现焊缝咬边、沙眼等问题，增加了返修工时。

为了减少焊接问题，我们加装了4台高清工业相机、一台主机、一台交换机和一台录像机，并对每台车的激光焊缝位置进行数据采集。通过设备内自带程序与实际程序数据进行对比，换算出焊缝位置偏差量，对偏差数据进行调整补偿，实现机器人位置偏差自动修正，精准达到激光焊头焊接位置。另外通过与RFID识别的车身号进行绑定，从而实现焊缝质量可追溯功能，如图7所示。

3.3.2 气泡管理系统搭建

车门PVC气泡一直是汽车行业内的难题，气泡的

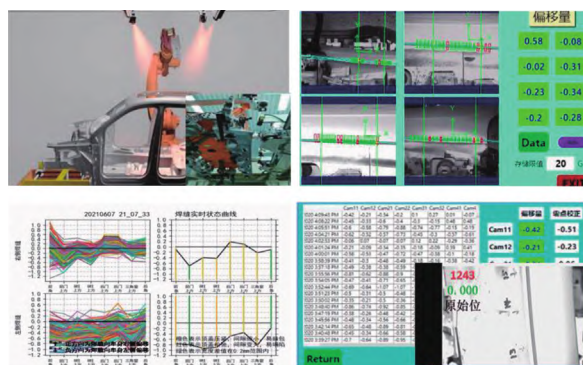


图7 奥迪 Q5L 顶盖激光焊缝自动校正系统

传统监控方式为纸质版记录，不仅数据样本量小、汇总难度大且无法有效掌握气泡的真实状态，更无法准确指导气泡优化的方向。

通过开发钉钉宜搭程序，气泡检查人员可以通过手机端录入气泡缺陷位置、频次以及严重程度，更全面地掌握气泡状态，有针对性地开展质量优化。

在小程序中，将每个车门分解为百余个气泡统计点，可追踪每个点的气泡趋势，并固化各点相应的涂胶、压合参数，做到有针对性地优化和管理气泡，如图8所示。

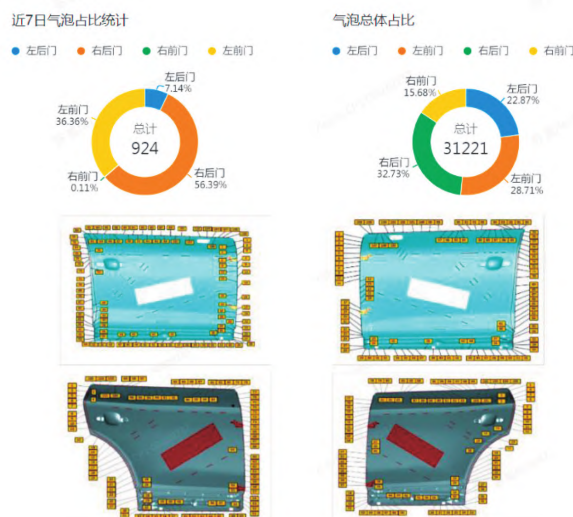


图8 四门气泡管理系统

4 结论

以上案例是一汽-大众在焊装质量数字化探索中的代表项目，未来，一汽-大众将持续在智慧质量领域中不断积极探索，沿着技术路线接续挖掘新的优质项目，并对已有项目进行迭代升级，以客户为导向，做到极致的产品质量控制。