

基于VMT BESTFIT的STF&P技术应用

□ 北京奔驰汽车有限公司 / 郑星汇

本文主要是对数字化测量辅助装配技术在实际生产应用中的一些介绍，讨论这项技术在实际应用中发生的一些问题以及针对问题的优化策略。为今后主机厂使用该技术时提供一些参考借鉴。

BEST FIT技术是一种数字化测量辅助装配技术（Measurement-Assisted Assembly, MMA），主要应用在汽车主机厂车身覆盖件到车身匹配装配中。这项技术的核心理念是通过机器人携带多个激光检测探头对生产中的车身尺寸关键装配特性（产品的几何关键特性，指产品设计制造中的关键尺寸、形状和位置等几何要素要求）进行实时扫描、测量，然后拟合出零件间最佳的匹配位姿并完成产品间的匹配。位姿是反应空间目标的重要参数，是指空间中一个坐标系相对于另一个坐标系的位置和姿态。在实际应用中，指相互关联系统坐标系的相对位置和姿态信息。通常由六个参数组成，三个位置参数和三个姿态参数。位置参数是指两个坐标系之间X、Y、Z三个坐标轴的相对平移量，姿态参数是指一个坐标系相对于另一个坐标系的旋转角度，由俯仰角、方位角和滚转角组成。

其中测量、拟合、匹配所有过程在一个工作循环内完成。这一技术在生产线的理想状态下极大提升了装配精度和装配效率，消除了人为装配可能造成的尺寸偏差。

本文主要是对这项技术在实际生产应用中的一些介绍，讨论这项技术在实际应用中发生的一些问题，以及针对问题的优化策略，为今后北京奔驰新项目及其他主机厂使用这项技术时提供一些参考借鉴。

STF&P技术介绍

北京奔驰MRA1装焊车间于2013年引入了德国戴姆勒和VMT公司合作开发的STF&P技术（Soft Touch Form & Pierce），通过激光扫描、照相机读取尾灯开口尺寸来拟合总装尾灯安装孔的位姿。这套技术是对BEST FIT技术的整合应用，包括了BEST FIT的核心扫描、测量、拟合技术及ECKOLD

冲孔枪的自适应冲孔、拉延。相比于BEST FIT最初的概念，这套系统增加了定位冲孔和板材安装面塑型拉延功能（根据戴姆勒标准，0.7~1.5mm的板材的设计拉延能力为0.1~3.5mm，现场需验证拉延可能的隐裂，并设定合理的报警阈值）。由于涉及到白车身尾灯开口到总装尾灯装配的全尺寸链转化，STF&P技术对过程工艺的复杂程度及对上下游过程工艺稳定性均提出了较高的要求。

在2013年新一代C级车205车型投产前，北京奔驰所有车型（V212、W204及X204等）总装尾灯装配需要装调工根据车身尾灯开口尺寸及尾灯来件的实际状态对尾灯Y、Z方向进行装调，通过在尾灯安装板上加减橡胶垫圈对尾灯X方向进行装调，所有调整到位后按照工艺顺序进行螺栓固定。这种传统的装调方法可以根据零件间的实时状态进行调整，由于调整需要时

间，这种工艺并不适合高线速的生产情况。另外，手工调整人为干扰因素较多，工艺稳定性及工艺可控能力较差。正是在这一背景下，也是在激光数据采集及数据分析能力大幅提升的前提下，戴姆勒在新一代的MRA及MFA平台上广泛使用STF&P技术：通过机器人携带激光探测头对白车身尾灯轮廓区域测量，拟合计算出基于每辆白车身尾灯轮廓的总装车间尾灯的最佳安装位置度和姿态，匹配完成尾灯在总装车间的安装。

STF&P技术在实际生产中的应用

集成了激光扫描、测量、拟合和自适应冲孔拉延能力的机器人（见图1），首先对车身进行激光扫描，传感器上的照相机读取扫描数据，把测量数据实施传输给VMT控制中心，VMT控制中心对数据进行拟合计算，模拟出尾灯板安装孔和安装面的最佳位置和姿态并发送给机器人携带的ECKOLD冲孔枪。冲孔枪根据枪下的激光探头测量出的板材实际空间位置，完成空间

位置拟合拉延，随后，冲孔枪完成对尾灯安装板的冲孔。整个过程在100s内完成。

激光探头通过对尾灯开口X、Y、Z三个方向总计6个基准点进行扫描计算，拟合出尾灯安装孔（XYZ）和安装板（ABC）到尾灯开口轮廓的位姿信息（数模坐标系和实际坐标系之间X、Y、Z三个坐标轴的相对平移量，以及实际坐标系相对于数模坐标系的旋转角度）。由于这种拟合计算的是理想零件状态下的理想位姿，在实际生产中为了真正达到最佳匹配的效果，还需要总装车间实时监控尾灯装配尺寸面差变化，并把信息及时传达到装焊车间，装焊车间根据总装反馈的实际匹配情况对冲孔、拉延位置做基于零件实际偏差的OFF SET，来匹配总装装配要求。

由于STF&P技术是一种基于精密测量、最佳拟合的先进加工技术，测量系统的稳定性及测量过程能力就变得至关重要。

设备初始过程能力的验证

根据德国汽车工业协会（Vbrband Der Autobomil Industrie）VDA 5 对测量过程能力的要求，测量系统过程能力验证需要专业人员及大量时间。针对STF&P技术的特性及生产中的实际经验，我们总结简化了验证内容：

（1）对传感器适用性的基本要求。设备清单中的激光传感器在交付时需满足 VDA 5 Test Process Suitability 对测量系统及检测过程能力的基本要求。供应商需文件化提供如下信息：激光传感器的重复

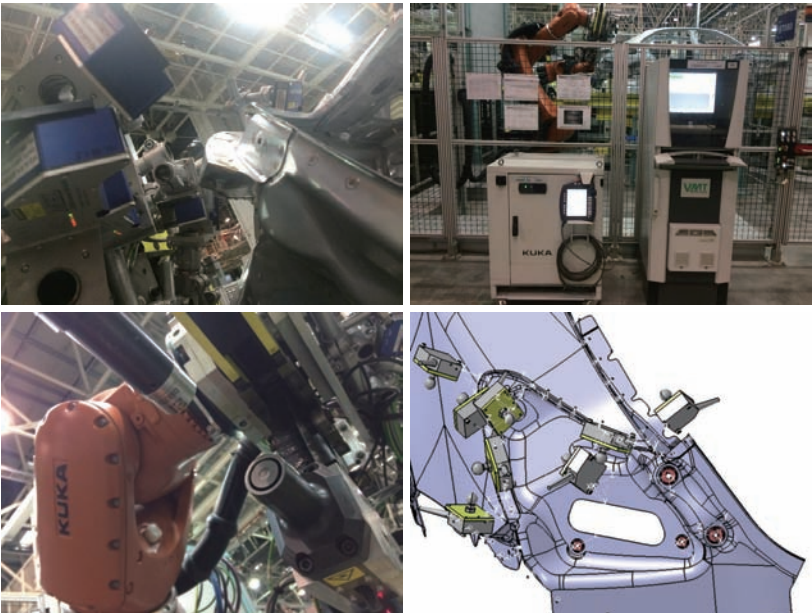
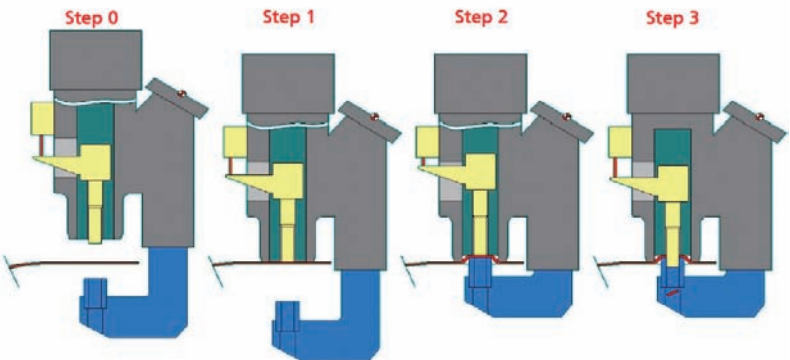
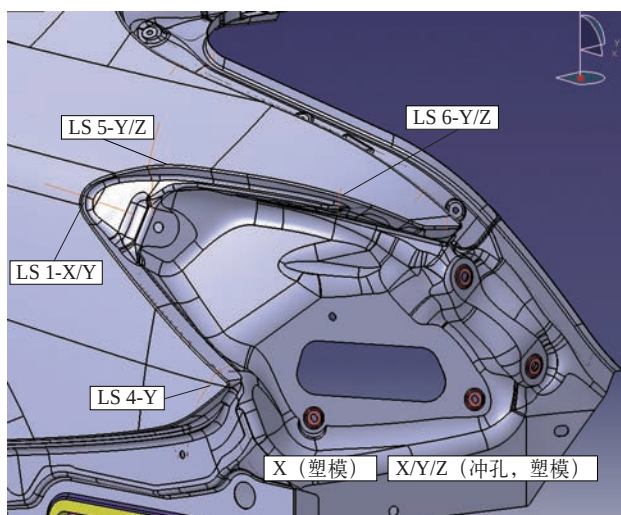


图1 ECKOLD冲孔枪的工作原理



精度；测量的线性关系；环境敏感度（光、温度、湿度、振动、可能的电网电压波动等）；传感器的理想长期过程能力的研究结果以及对传感器测量不确定性的初始描述等内容文件。

(2) 机器人OFF SET对测量结果的影响。机器人X、Y、Z及A、B、C空间自由度的偏差调整对测量结果的影响（机器人平动关节的误差补偿，机器人转动关节误差补偿）。

(3) 在同一套系统中更换激光传感器对测量系统及测量结果的影响。

(4) 测量系统的静态重复性测试。用激光传感器对生产现场的标定块进行重复性测量 ($C_g > 1.33$)

$$C_g = \frac{0.2T}{4s_g}$$

(5) 对测整个BEST FIT控制系统的影响还需要做如下验证：通过调整工位内车身主定位X、Y、Z空间位置（-2.0mm，-1.0mm，

0mm，1.0mm，2.0mm）模拟车身偏移后BEST FIT的实际拟合结果变化， $N > 30$ ；冲孔枪对板材拉延深度及深度极限阈值的报警识别检测；最终的短期过程能力及长期过程能力的研究， $C_p/C_{pk} > 1.33$ 。

生产中测量数据及加工结果的准确性

1. 定期MASTER CAR标定（标定模型）

为了保证VMT算法拟合的数据真实准确，需要定期做MASTER CAR的标定工作：选定尺寸精度良好的白车身进行尾灯轮廓三坐标打点测量，调教机器人轨迹以便激光测头对准尾灯轮廓基准点，将经过三坐标测量的轮廓基准点坐标值输入VMT做为拟合基准参考值。MASTER CAR的标定是为了抓取的数据更加准确，从而提高拟合值的受信程度。同时，由于存在生产中的环境影响因素（温度，湿度，光线）及来件批次，批量生产工装卡

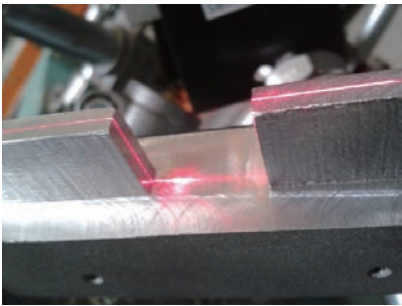
具磨损等因素的影响，车身尺寸可能会有一定变化，标定过的机器人测量轨迹位置也可能已经偏离标定之初的实际位置，在这种情况下得到的测量结果可能是失真的。因此定期做MASTER CAR标定非常必要。由于MASTER CAR比对需要大量时间，在车身及测量系统稳定的情况下，建议3~6个月做一次即可。

2. Reference Tree 校准激光测头分辨率

考虑到MASTER CAR验证需要大量时间，如何对实际生产中的测量系统及测量结果进行验证就变得至关重要。毕竟受生产现场工况条件所限，机器人轨迹变化、测头物理偏移或测头覆盖杂质都会影响测量结果的输出，测量拟合结果又会影响STF&P位姿准确度。为了降低这些因素导致的测量变差，生产中应定期通过现场Reference tree校验激光测头位置精度（根据产量或时间设定校准次数）。如果不能满足Reference tree 的公差要求，维修部门需要停线对测头及轨迹进行重新校准，或进行专业的测量头清洁。

3. 测量和拟合过程

BEST FIT系统激光测头对尾灯轮廓进行扫描，生成测量数据。相对理想的测量结果并不是一次的测量采样值，一般是连续10次（设置）的样本均值及样本标准差，理想的标准差为0，标准差超出公差设置会自动报警，这时需要人为对此点测量结果进行验证。同时，如果提高采样的样本数量，最终的均值会更接近车身的真实数值，但增加采样数量会导致总体的工艺时间增加，所



以，对于采样数值的设定需要平衡生产节拍及实际精度要求。

4. 定期车身定位精度校准

为了保证测量结果的精准度，车身定位精度也必须纳入统一的影响评价范围。205车型使用滑撬输送车辆，车身随着滑撬进入工位后，滑撬随剪式滚床下落，车身定位孔（铝制）落入工位基准定位销

（钢制），下落位置的准确度影响车身的定位精度；定位孔的磨损也会影响车身的定位精度。（为保证车身入位准确、车身定位孔与工位定位销无磕碰、减少定位孔可能的磨损，需要定期调校滑撬到工位停止下落位置）

结语

Soft, Touch, Form & Pierce

（STF&P）作为一项较为先进的技术，初始设备能力及落实到位的定期维护保养是它可以发挥效用的前提，而上下游工艺环节的匹配是这项技术最终产生效用的保障。

上下游工艺环节稳定受控包括：白车身尺寸（包括冲压件）的稳定性、总装工艺执行的稳定性和总装来件质量的稳定性以及总装根据实时状态向装焊反馈这种跨部门流程的受控。这项技术得以发挥效用考量的并不是一个单一环节的能力，而是上下游能力的匹配。如果只是把质量提升的愿景寄托在先进的设备上，而忽视设备的使用及上下游各环节工艺匹配，最终的输出结果只能由过程中的短板决定。

AUTO1950

汽车工艺师 2018年 第4期 广告目次 Advertisement Catalogue

单位名称	查询编号	位置
汽车工艺师		封面
2018（第十五届）北京国际汽车展览会	8119	封二
SMALLEY钢圈有限公司	8086	封三
杭州友佳精密机械有限公司青岛办事处	1231	封底
德马吉森精机机床贸易有限公司	1481	1
泰珂洛超硬工具（上海）有限公司	5261	2
尚亚（上海）国际贸易有限公司	5121	3
国机展览公司	8866	4
易格斯拖链轴承仓储贸易（上海）有限公司	1298	29
东浩兰生（集团）有限公司工博会项目分公司	6014	45
浙江三维大通精锻科技有限公司	1739	51