总装车身间隙平度动态自动测量系统

占细雄，刘杰军，郎庆东，孙治国
一汽-大众汽车有限公司　吉林长春　130011

摘要：对比了总装车间进行四门两盖间隙平度测量的方法，在此基础上详细介绍在线动态测量系统的优势和核心技术。此系统通过设置车身定位激光器及同步控制系统，精准实现了动态情况下的车身待测量点位置的跟踪和反馈，由机器人携带激光测量系统完成位置同步和间隙平度的高精度测量，解决了工业生产中车身位置波动带来的影响，同时通过安全光栅和预触发系统保证了流水线生产的安全性及设备开动率。

关键词：动态测量；激光定位；安全防护
DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.z1.005

随着汽车的普及和消费升级，用户不仅仅关注功能，也更关注车辆外形。车辆外形中，四门及前后盖、大灯等零件和车身的间隙平度是一个非常重要的参数。间隙平度不合格，会影响车辆的整体外观形象，也会导致车辆风阻系数发生变化，带来行驶噪声和油耗的增加[1]。所以各个车企，尤其是龙头车企日益重视间隙平度的控制。

间隙平度测量方法发展

汽车行业，传统的门盖间隙平度在线检测是人工用塑料塞尺进行，效率低下且和人员状态有关。近几年也有一些整车厂利用激光系统进行间隙平度测量，综合利用测量、图像传感、图像处理等技术有机融合，具有非接触的优点。不过多是静态测量，受到的限制较多。本文采用了全新的在线动态激光测量系统，能满足60JPH（件/h）下的高速多车型动态测量。此系统综合了机器人、激光测量、激光定位、数据处理及图像处理等技术，采用运动学、数学等多学科知识解决了总装生产过程中车型外观复杂性、颜色多样性、车身位置不确定性情况下动态测量间隙平度的问题。检测结果实时显示在下一工位，用于指导操作者针对性进行在线返工，提高车辆质量。结果同时也发送到企业的质量控制平台，用于进行故障车记录和管理。

间隙平度测量方案

如图1所示，测量系统安装在塑料板式带两侧，由车身定位系统、激光测量系统、同步控制系统及安全防护系统组成。车辆到达指定工位后，会触发车辆探测器。车辆探测器探测到车辆后开始起动系统工作。同步控制系统通过编码器准确反馈车辆在板式带上移动的距离，得到*X*向的位置。同时车身定位系统能准确识别车辆在*Y*向上的偏移，通过每侧前后两个定位激光器，能识别车身*Y*向偏移和扭转角度，结合*X*向的位移，车身定位系统能识别车辆的空间位置和理想位置的偏差。左右两侧的机器人根据预设的轨迹曲线并结合定位偏差带动测量探头到达预设位置，进行间隙和平度的测量。测量结果会显示在状态显示器上，指导返工人员进行不合格测量点的精准返工。

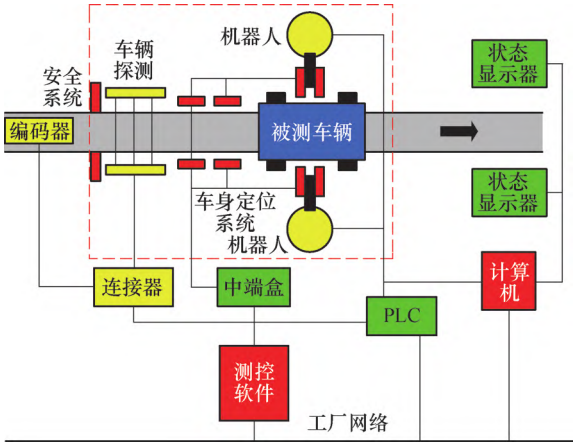

图1　间隙平度动态测量框架

检测设备及原理

目前间隙平度测量主要在焊装车间和总装车间应用，相对于焊装白车身测量，总装采用的是相对测量，由于车身颜色多样性，零件材料多样性导致测量难度更大。为克服这些影响，当前主流技术是采用双激光头进行测量，双激光头能保证缝隙的每一侧都能被激光覆盖到，并且能依据每一侧的材质和反光效果来调整光学系统的参数，确保在不同截面、不同材料的情况下都获得最佳的测量效果。

1.设备构成

总装间隙平度动态自动测量系统由同步跟踪模块、测量模块、安全防护模块、信息处理模块及人机交互模块组成。

（1）同步跟踪模块　同步跟踪模块负责跟踪车辆位置，触发测量系统，同时测量车辆在板式带上的*Y*向位置（垂直于车身方向）及*X*向位置，确保机器人能带着测量激光头移动到规定位置。由于车辆是在板式带上移动，车辆*Y*向位置偏差会达到2cm，*X*向的位置始终在动态变化。

若车身位置不准，会存在如下两方面问题：

1）激光入射角度和预判的角度不同，距离也不同，会影响测量的精度。

2）由于待测点是预先设置，间隙平度的理论合格范围也是根据预设位置来确定的，若由于车辆定位精度导致实际测量点和预设点不同，测量结果反映不了预设位置的实际状态，导致设备误判。

因此，车辆位置定位及定位点位置准确性是系统是否能准确测量的关键因素之一。为确保测点位置准备，系统设置两套编码器进行位置同步，精准计算*X*向位移量，同时在左右侧各安装一套静态测量激光器，来进行车辆*Y*向偏转测量，实时把位置信息发送给中央控制系统，在动态测量中及时进行位置的修正。

（2）测量模块　由机器人和测量激光器组成，每套设备左右两侧各安装一套机器人。机器人上携带测量头，测量头由两个测量激光器组成，如图2所示。

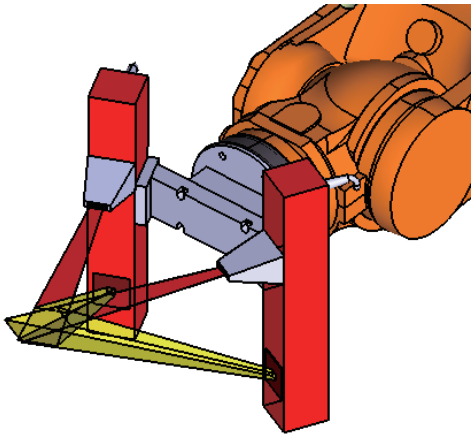

图2　激光测量模块

（3）安全防护模块　由安全护栏、对射光栅、人员识别图像处理系统及声音提示系统组成，是防止人员误入测量系统内部，造成人员伤害和生产停台的控制模块。同时在入口装有传感器，检测车辆的门盖是否已经关上，若门或前后盖没有关闭，系统报警并停下生产线，避免测量不准甚至刮坏车身和传感器。

（4）信息处理模块　是中控系统，用于控制设备各个部件按流程运动，实现间隙平度数据的获取及处理。

2.设备原理

利用传感器精确取得待测点的特征是准确测量的基础，但是由于车辆外部特征多样性，如卷边、斜边、锐边、T形间隙、H形间隙、平行间隙及零间隙等，需要提前定义好各种情况下的计算规则，确保每次测量都按照同样规则才能保证准确性。如图3所示，是本案例涉及的几种典型间隙的样本。由于各个车型不同部位的间隙和平度的理论值不尽相同，所以在前期需要定义测量点的位置及各个测量点的理论值及公

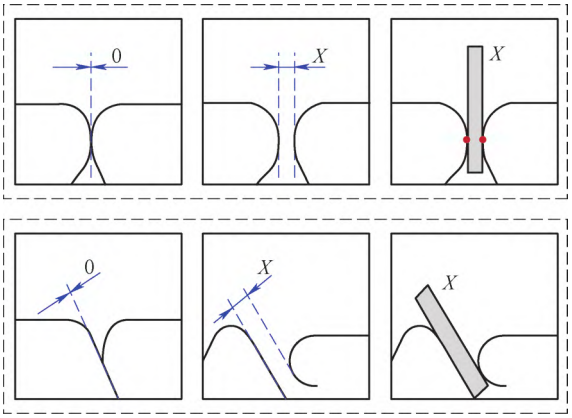

图3　测量规则

差。设备安装调试后，在模型学习阶段，要引导机器人走到这些预定义的点位，进行测量、计算。测量点的选取上，在考虑质量控制的必要性基础上，要尽量选取车辆移动方向上间隙平度变化量小的点，避免由于机器人定位偏差导致测量结果和理论值偏差。

调试注意事项

此设备是动态条件下进行激光测量，在项目安装调试中，除传统的光线处理、相机选型、软件算法等问题外，还要注意如下几点。

1）测量结果是用于指导返工人员进行判断和定点修理的，所以除在检测工位需要显示正在检测的车辆的实时状态外，还需要在设备完成检测后的返工工位显示操作者正在返工的车辆的实际状态，此点和常规设备的实时显示有差异，需要在项目前期予以考虑。

2）动态测量不同于随动安装和静态测量，除要考虑设备测量系统的精度外，还要考虑同步系统的定位精度。所以除通过触发系统、同步编码器及机器人控制上提高机器人导向的定位精度外，在前期测量点的选择上，要避免选择锐变点，即使机器人定位有微小偏差，理论公差也不会变化，从而缩小定位系统带来的影响。

3）设备投入使用前需要进行相似度测试，确保测量结果的准确性。相似度测试时质保人员利用手持式工具测量待测点，和设备测量值进行对比。由于人工测试时存在角度、手法因素，所以要确保相似度测试人员稳定，且每个测量点进行多次测量，取均值。

数据处理

此设备开发目标如下：

1）检测车辆间隙平度值，进行合格性判断，取代质量检查人员。

2）间隙平度匹配状态数字化，通过测量结果大数据分析调整人员习惯，优化调整人员调整方法。

3）分析调整前数据，和焊装车间数据对比，确认车身经过涂装高温、总装装配后的形变量，通过趋势分析优化焊装工装辅具及预留量，减少总装调整工时。

为实现这些目标，就需要保证各个检测点的检测数据通用性，便于进行跨工位、跨车间、跨部门分析。要提前定义测量结果的数据格式。本案例的项目中，前期测点选择时，和焊装设备负责人及质量分析负责人进行沟通，选取关键的相同的测量点位。同时通过标准化测点命名、标准化数据存储格式、标准化数据结构，实现总装数据、焊装数据联动，能在远程跟踪同一底盘号车辆在焊装和总装的测量数据，实现不同车辆相同位置的大批量测量数据的统计对比及同一车辆相同测量位置的测量结果单点对比分析。分析人员通过数据分析可以确认变化量，对焊装车间的工装辅具进行优化，调整焊装的间隙平度控制值，针对性的预留变化量，减少总装调整工时。

结语

文章系统阐述了间隙平度动态测量原理和设备架构，结合项目经验介绍了实际项目中涉及安全的注意事项和调试中的问题并针对设备测量结果的再利用进行了讲解。

随着国家制造技术升级战略的推进和人力成本的提升及对质量要求的日益提高，这种间隙平度自动测量技术应用会逐渐普及，希望本文能为此技术的推广提供帮助。

参考文献：

[1] 丁明明，沈洪垚.基于CCD图像检测的微间隙精密测量系统[J].机电工程，2005（8）：46-47.

[2] 张晓光，李孝坤，卢小龙，等.车身外观间隙、面差及其公差研究，科学与技术，2021（2）.