

汽车下线后四轮定位检测中前束精准调整工具系统的研究与设计

肖楠 杨胜东 包超文

上汽通用五菱汽车股份有限公司重庆分公司 重庆 401135

摘要：四轮定位前束调整是新车下线检测的关键工序，直接影响车辆的行驶稳定性、轮胎寿命和燃油经济性。目前国内汽车制造企业普遍采用扭矩扳手松开横拉杆螺母后，由操作工人手持开口扳手进行手动调整的作业方式。该方法存在调整精度依赖工人经验、劳动强度大、作业效率低、工件表面易损伤等问题。本文在系统分析传统前束调整工艺现状与不足的基础上，通过制作调整工具系统替代传统开口扳手，使调整过程可实现一次对准全程不取下持续操作，解决了传统开口扳手需要反复对准才能进行连续调整的问题，将伺服电机与调整工具系统相结合^[2]，解决了前束调整数值不可控问题，有效保证了车辆前束值左右一致、同车型车辆检测后数值一致；本文的研究为汽车下线检测环节的工具自动化改造提供了可行的技术方案，对提升整车制造质量与生产效率具有重要的工程应用价值。

关键词：前束调整；横拉杆；精准调整；四轮定位；自动化调整系统

引言：汽车在行驶过程中车轮并非垂直前进，而是具有一定的倾斜角度，而倾斜角度按照一定标准在汽车下线后通过四轮定位进行调整，在当前汽车制造行业中，大部分为人员手工调整，不能完全保证调整精度，且该方式虽具有工具简单、初期投入低的优点，但在大批量生产节奏下暴露出诸多固有缺陷。

研究背景：

四轮定位：是以车辆底盘悬挂几何参数为基准，通过调整转向拉杆、悬挂偏心螺丝等部件，校正四个车轮的外倾角、主销后倾角、前束角等数据^[1]。它的目的不是直接修理轮胎，而是恢复车辆正确的行驶轨迹和操控稳定性。

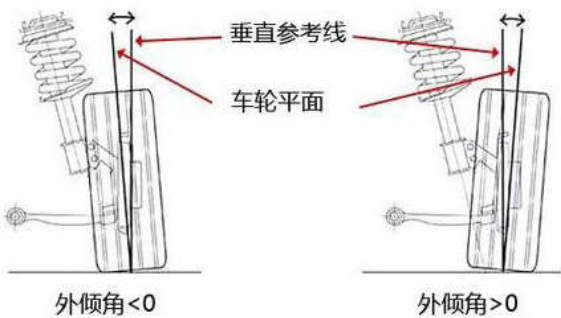


图1

外倾：外倾角是指从车辆正前方或正后方看过去，轮胎中心线与地面垂直线之间的夹角。通俗讲就是轮胎的竖直倾斜程度，详见图1。负外倾角：轮胎顶部向车身内侧倾斜，像“八字脚”站立的造型。这是绝大多数轿车、性能车的原厂设定。正外倾角：轮胎顶部向车身外侧倾

斜，像“罗圈腿”。常见于重型卡车等，简单来说，外倾就是为了补偿弯道中的轮胎变形，当车辆高速过弯时，车身侧倾会挤压外侧轮胎，使原本稍微“内倾”的负外倾角轮胎瞬间完全贴合地面，从而增大过弯极限，增大轮胎接触面，抵消不良影响。

前束：是四轮定位中最关键且调整频率最高的角度^[1]，指从正上方俯视时，左右两个车轮前端距离与后端距离的差值。详见图2，前束角为正（内八字）：车轮前端向内收，后端向外扩。优点是直线行驶稳定，但转向响应偏迟钝。前束角为负（外八字）：车轮前端向外撇。优点是入弯响应快，但直线行驶容易飘忽不定、加剧轮胎内侧磨损。前束数值偏差，可能会导致汽车开起来感觉底盘不散，但方向盘是歪的，或者松开手车不跑偏但方向盘自己歪向一边。



图2

外倾和前束的关系：外倾的设定使两侧的车轮向外张开，无法平行滚动，行驶时会产生滑动，因此产生了“前束”。^[1]前束的作用是能够抵消因外倾导致的两侧车轮向外张开的状态，前束状态下造成的两侧车轮向内侧的

滑动也会与外倾导致的滑动相抵消,使车轮基本能够以无滑动的方式平行向前滚动。

现有的技术手段:当前,国内大多数整车制造厂在前束调整环节仍然采用较为传统的人工作业方式,操作工人首先使用扭矩扳手松开横拉杆锁紧螺母,然后用开口扳手卡住横拉杆调整部位进行旋转调整,完成后再用扭矩扳手将锁紧螺母紧固至规定扭矩。前轮前束可通过改变横拉杆的长度来调整,调整时可根据汽车生产厂家规定的测量位置,使两轮前后距离差符合规定的前束值。转向横拉杆位于底盘下面,方向盘角度调整位于汽车驾驶舱内,一般四轮定位及前束值调整需要两个人配合完成,先调整方向盘角度,在调整前束值,人工成本较高^[5]。详见图3、图4

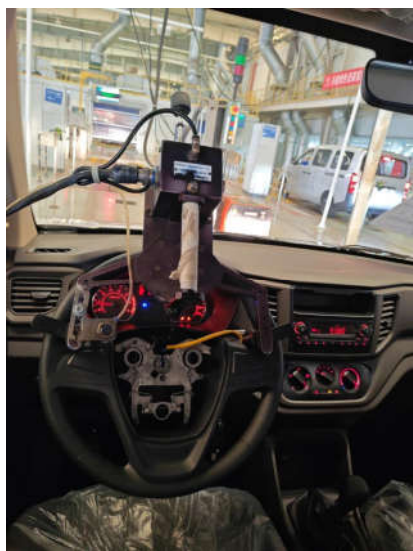


图3

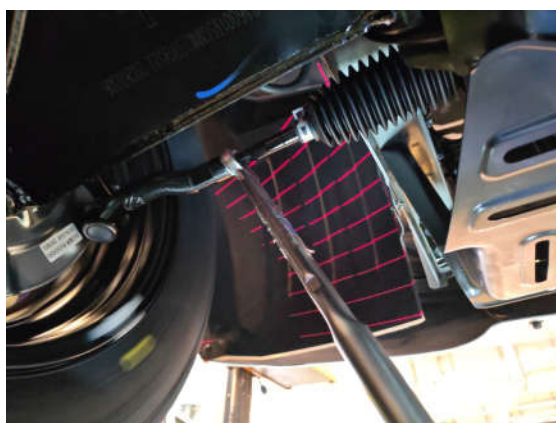


图4

整个过程需要操作工人在车辆底盘下方的狭小空间内反复进出操作,传统开口扳手调整方式在实际生产中存在劳动强度较大、调整精度偏差、零部件表面损伤质量风险、作业空间受限、质量控制一致性偏差等风险^[5]。

改进策划:通过制作调整工具系统替代传统开口扳手,使调整过程可实现一次对准全程不取下持续操作,解决了传统开口扳手需要反复对准才能进行连续调整的问题,将伺服电机与调整工具系统相结合^[2],解决了前束调整数值不可控问题,有效保证了车辆前束值左右一致、同车型车辆检测后数值一致;再通过使用3D视觉相机为UR机器臂上组合的调整工具系统进行角度调整^[3],使调整工具系统开口可实现与前束调整横拉杆相吻合,使用新开发的拧紧夹具系统它由扭矩电枪、专用360度扭矩施加头组成。可实现横拉杆扭矩施加误差值在1N.m范围内^[4],同时有效杜绝扭矩漏打,消除多余复扳;将拧紧夹具系统与UR机器臂组合,使用3D视觉相机为UR机器臂提供数据,调整拧紧夹具系统与横拉杆螺母相吻合,通过调整工具系统数据结果判断是否施加扭矩,有效解决了车底下操作产生的人机不合理。通过以上设计组装的扳手装置,从而实现了解放人力和提升调节精度的效果。

如图5所示,实施改进中,机器人为两个,扳手装置相应为两个,两个扳手装置分别安装于两个机器人上。

两个机器人的配合如下:为便于区分,将带有3D视觉相机的机器人标记为第一机器人,将没有3D视觉相机的机器人标记为第二机器人。

待调校车辆驶上四轮定位台架,定位测量系统随即启动,解算出车轮定位偏差量。一号机器人获取当前车型数据后,自主运动至右侧转向拉杆的预标定拍照位,采集图像并推算出螺母与拉杆间的相对转角。二号机器人完成整体位姿调整,行进至右侧螺母位置,经末端微调后将该螺母旋松。接着,一号机器人转移至左侧工位,执行拍照与角度解算;二号机器人则撤出右侧调整位姿,依据左侧视觉信息重新规划姿态并移至左侧螺母处,经微调后松开螺母。

随后,一号机器人脱离左侧调姿状态,基于右侧拍照数据调整姿态并移动到右侧螺杆位置,通过末端微调开始对螺杆进行调节;与此同时,二号机器人退出左侧调整状态,同样参照右侧图像信息调整姿态并到达右侧螺母位置,微调后锁紧该螺母。完成右侧作业后,一号机器人从右侧调姿模式撤出,借助左侧拍照信息调整姿态并运动至左侧螺杆位置,微调后实施螺杆调整,调节完毕后退出调整状态并返回初始位姿;二号机器人则退出右侧调整状态,利用左侧图像数据重新调整姿态并移动到左侧螺母处,经末端微调后拧紧螺母,而后退出调姿模式,回归初始位置。最后,车辆驶离工位,进入下一个装配循环。

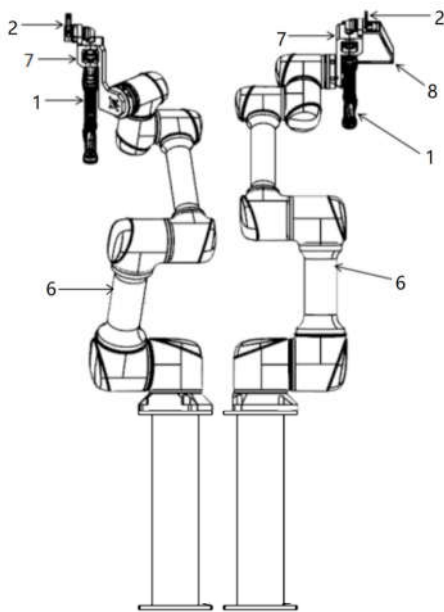


图5

经实际研究改进,前束调节已实现全流程自动化,具体工艺如下:

车辆驶入四轮定位工位,红外视觉系统计算前束偏差值,并将该数据发送至精密调校装置。装置利用工装转角解算出所需调整螺距,同时基于伺服执行机构进行深度自学习,通过预测融合实测,将原始误差从 $0^{\circ}\pm 13'$ 压缩至 $0^{\circ}\pm 5'$ 。调整机器人接收车型参数后,由伺服横移模组引导至右侧拉杆预设位;随后,采用双目视觉一次完成空间标定,机器人与视觉引导单元之间通过自定义通讯协议交互,具备全自动标定和自学习能力,拍照后解算螺母与拉杆间角度,拧紧机器人据此完成姿态调整,定位偏差不超过 $\pm 0.05\text{ mm}$ 。接着,伺服模组将拧紧机器人送抵右侧螺母位置,经末端微调后旋松螺母;调整机器人则由模组驱动至左侧工位,借助双目视觉进行空间定位。

拧紧机器人退出右侧调姿,依靠左侧双目定位信息

调整姿态并运动到左侧螺母处,微调后松开螺母。调整机器人退出左侧调姿,根据右侧双目定位数据调整姿态并移动至右侧螺杆位置,微调后开始驱动螺杆调节。拧紧机器人退出左侧调姿,依据右侧双目定位结果调姿并抵达右侧螺母,微调后执行拧紧。此过程中,原关键扭矩控制范围为 $50\sim 70\text{ N}\cdot\text{m}$ 、设定点 $55\text{ N}\cdot\text{m}$,经精密拧紧系统作用,可将实际扭矩精准约束在 $54\sim 56\text{ N}\cdot\text{m}$,即控制偏差为设定值 $\pm 1\text{ N}\cdot\text{m}$ 。随后,调整机器人退出右侧调姿,结合左侧双目定位数据调姿并移动至左侧螺杆位,微调后进行螺杆调整,作业完毕后退出调姿并回归初始位置。拧紧机器人退出右侧调姿,基于左侧双目定位结果调整姿态并移至左侧螺母处,微调后完成拧紧,随后退出调姿并返回初始位置。车辆驶离工位,进入下一检测循环。

结语

随着汽车制造自动化、智能化水平的不断提高,新车下线检测环节的工具系统必将朝着更加精准、高效和智能化的方向发展。本研究所设计的专用前束调整工具系统,作为从手动工具向自动化装备过渡的一个中间方案,兼具实用性和经济性,对于推动我国汽车制造工艺装备的技术进步具有积极的促进作用。

参考文献

- [1]四轮定位后桥前束优化[J].汽车实用技术,2022(17):86-90.
- [2]方程式赛车前束自动调节装置设计及静力学分析[J].机械,2021,48(7):32-38.
- [3]基于MDH模型的工业机器人标定及视觉引导方法研究[J].机械设计与制造工程,2023,52(5):34-39.
- [4]一种整车前后束拧紧装置[P].中国专利:CN216098730U,2022-03-22.
- [5]非接触式四轮定位在货车上的应用(二)[C]//2021中国汽车工程学会年会论文集.上海,2021:2120-2127.