

汽车底盘合装工艺及装备技术研究

刘占户

中国汽车工业工程有限公司 天津 300113

【摘要】：随着汽车制造向着智能化、柔性化与高品质方向发展，汽车底盘作为汽车的“骨骼”，其合装工艺的精度、效率与可靠性直接决定了整车的安全性、舒适性与性能。本文系统阐述了汽车底盘装配工艺的内涵、关键技术流程及其发展演变，重点分析了底盘装配线的主要形式（如空中摩擦线、宽板链线、滑板线等）与核心装备技术（如自动导引车 AGV、高精度视觉定位系统、机器人自动拧紧系统等）。论文深入探讨了以“模块化、柔性化、数字化、智能化”为核心的现代底盘装配技术体系，并通过对某车企应用 AGV 柔性合装系统的案例分析，验证了该技术在提升生产节拍、降低装配误差以及实现多车型混流生产方面的显著优势。最后，对底盘合装技术的未来发展趋势，如数字孪生、人工智能质量预测等进行了展望。研究表明，先进的底盘合装工艺与装备是实现汽车智能制造的关键环节，对推动汽车产业升级具有重要意义。

【关键词】：底盘装配；装配工艺；柔性制造；AGV；数字化孪生；智能制造

DOI:10.12417/2705-0998.25.19.057

1 引言

汽车底盘合装工艺是汽车总装生产中的核心环节，它特指将动力总成（发动机+变速箱）、前后桥（含悬挂系统）、传动轴（或驱动半轴）、制动系统、转向系统、油液管路、线束等关键部件预先组装成一个完整、可独立运行的“底盘总成”模块，然后再与白车身在总装主线的特定工位进行精准对接、连接、紧固的工艺过程。其装配质量直接影响整车的操纵稳定性、平顺性、制动性及 NVH（噪声、振动与声振粗糙度）性能。

汽车底盘合装是汽车制造中的关键工艺，主要分为以下两种类型：

①分体式合装。这种合装方式将底盘部件分别安装到车身上，通常需要多个工位逐步完成。模块与车身之间的定位需通过精密夹具和定位系统实现精准对接。其特点是工艺灵活，适合多车型共线生产，适应个性化定制需求。常配备 AGV（自动导引车）或 RGV（有轨导向车）运输模块，结合自动化举升和拧紧设备

②一体化底盘合装（模块化合装）。这是现代汽车制造的主流趋势，其核心特点是将动力总成、电池总成和所有底盘零件在定位夹具上预先组装成完整的底盘模块，然后通过升降台与车身一次性精准结合。这种合装方式具有以下优势：高精度：采用主定位销与车身定位孔结合，确保所有连接件与车身螺孔的精确配合。a.高效率：双拧紧台可实现多颗螺栓同时拧紧，拧紧数据实时监控，显著提升装配速度。

高标准化：统一的公差要求和工装夹具设计，保证了产品质量的稳定性。

一体化底盘合装尤其适用于新能源汽车平台，能够有效提升整车的刚性和安全性。

传统的底盘装配工艺多采用刚性生产线，存在工位固定、柔性差、难以适应多车型共线生产、装配精度依赖工人经验等

问题。汽车制造模式正从大规模标准化生产向大规模定制化生产转变。这对生产线的柔性化、自动化与智能化水平提出了前所未有的高要求。因此，对底盘装配工艺及装备技术进行深入研究，开发和应用高效、精密、柔性的装配系统，已成为提升汽车制造企业核心竞争力的必然选择。

本文旨在系统梳理汽车底盘装配工艺的技术体系，剖析关键装备的技术原理与应用，并结合行业前沿案例与发展趋势，为相关领域的技术创新与产业升级提供理论参考与实践指导。

2 汽车底盘装配工艺概述

2.1 底盘合装工艺的内涵与流程

底盘合装是一个多工序、多物料、高精度的串联过程。其核心目标是将分散的底盘部件集成为一个完整的、功能完备的底盘模块，并与白车身实现精准结合。典型的底盘装配工艺流程如下：（1）准备阶段：白车身经内饰装配后，通过输送线进入底盘装配区域。同时，在分装线上，发动机与变速箱的动力总成、前桥模块、后桥模块等已完成预装配。（2）定位与举升：白车身在合装工位被精确定位并夹紧。底盘合装设备（如合装小车或 AGV）承载着已预装好的底盘模块总成，移动至白车身下方。（3）对合与连接：合装设备将底盘总成平稳、精确地举升，使底盘上的连接点（如悬置点、螺栓孔）与白车身上的对应点对准。随后，操作工人或自动化设备（如机器人）使用拧紧工具将连接螺栓按规定扭矩和顺序进行紧固。这是整个工艺中最为关键的步骤。如图 1 所示。（4）附件安装：在主体结构连接完成后，继续进行排气管、油箱、制动管路、电线束等附属部件的安装与连接。（5）检测与下线：完成所有装配后，进行必要的检测（如关键螺栓扭矩复检、四轮定位初检等），合格后的车身下线，进入最终装配线。



图1 车身与底盘合装

2.2 合装工艺的关键技术难点

高精度定位与配合：底盘合装涉及发动机、变速箱、悬架、制动系统等多个分总成，必须实现车身与底盘各部件之间的高精度定位。定位系统设计复杂，包括车身 RPS 定位孔、托盘定位销和吊具定位，要求误差极小，否则会导致零件错位、应力集中，影响整车性能和安全。a 多应力耦合控制：在紧固过程中，螺栓的预紧力、零件的装配应力相互耦合，不当的拧紧策略会导致结构变形或连接失效。b. 柔性化适配：生产线需要能够快速适应不同轴距、轮距、底盘结构的车型，要求合装装备具有快速重构和程序切换能力。如图1所示，传统底盘合装线与柔性合装线对比示意。



•左图为刚性链式输送带，工位固定；右图为AGV柔性合装系统，AGV可自由路径行变，灵活适配不同车型混线生产。

图1 传统底盘合装线与柔性合装线对比示意图

尺寸链控制复杂。底盘合装是多部件、多模块的尺寸链合成。尺寸链中任何一个环节的偏差都会传递累积，导致最终装配误差。如何通过设计优化、制造控制和装配调整，确保尺寸链闭环精度，是真正的挑战。自动化合装设备技术。合装托盘输送、举升机的稳定性及精度是保证合装质量的基础。设备需支持负载尺寸大、重量重、动作高精度且无抖动，同时实现柔性化、多车型切换和高节拍运行，技术难度高。

自动拧紧技术难题。底盘与车身连接的螺栓多达数十个，拧紧力度需精准控制以保证牢固且不损坏零件。自动拧紧过程中，设备要适应各种型号螺栓和连接件，并且对装配误差有一定补偿能力，这对拧紧台及机器人技术提出高要求。结构与工装设计优化。底盘和车身结构设计需适应合装工艺要求，包括安装孔布局、卡接结构改为装配结构、焊接点转为装配连接等。同时工装夹具需保证高定位精度和重复定位能力，且结构轻便、易维护。质量控制与返修机制。合装环节是总装工序中误差积累的关键点，必须建立完善的检测体系和快速返修流程。合装不良时要及时报警并进行二次调整或返修，保证整体生产线的顺畅和产品合格率。

汽车底盘合装面临定位精度、尺寸链控制、设备自动化、多样化柔性生产、自动拧紧技术及质量保障等多方面技术难点，需要设计、工艺与装备的高度协同与创新。

3 底盘合装主要装备技术

现代底盘合装线是一个集机械、电气、控制和信息技术于一体的复杂系统。其核心装备决定了合装的技术水平。

3.1 合装线输送系统

(1) 宽板链输送带：传统形式，承载能力强，运行稳定，但柔性差，占地面积大，噪音高。(2) 空中摩擦线：车身吊挂输送，下方空间开阔，便于合装设备作业，是目前主流形式之一。(3) 地面滑板输送线：滑板承载车身，通过摩擦轮驱动，停位精度高，易于实现自动化。(4) AGV 柔性合装系统：当前技术发展的前沿。由多台 AGV 协同工作，每台 AGV 作为一个移动的装配平台，承载底盘总成并与白车身同步上升进行合装。其最大优势是路径灵活，无需改造地面基础设施即可实现生产布局的调整和车型的扩展。

3.2 核心合装装备

(1) 自动导引车 (AGV)：在柔性合装系统中，AGV 是核心载体。它集成了举升机构、精定位系统和同步控制系统。通过激光导航、惯性导航或视觉 SLAM 技术，AGV 能够与空中输送的白车身保持精确的同步运动。(2) 高精度视觉定位系统：用于解决合装过程中的精定位问题。系统通过安装在合装设备上的工业相机，识别车身底部的视觉标记点，实时计算位置偏差，并引导 AGV 或精定位机构进行微调，确保螺栓孔的对中精度。(3) 机器人自动拧紧系统：由工业机器人、伺服电动拧紧轴和控制系统组成。机器人可按照预设路径，到达每一个紧固点，拧紧系统则严格按照工艺要求的扭矩、角度和顺序完成紧固，并实时记录和监控每一颗螺栓的数据，确保质量可追溯。图2 机器人自动拧紧系统工作场景图

(4) 数字化拧紧工具与力矩管理系统：即使是人工工位，也普遍采用高精度的数显定扭扳手。所有拧紧数据通过无线网络实时上传至工厂制造执行系统 (MES)，形成完整的装配质

量数据库,实现全生命周期质量追溯。



图2 机器人自动拧紧系统工作场景图

底盘合装装备的水平直接体现了汽车制造工厂的技术实力和质量管理能力,是生产一辆安全、可靠、操控性好的汽车不可或缺的关键环节。

4 现代底盘合装技术体系的发展趋势

4.1 模块化预装配

将底盘上的零部件在分装线上先集成为几个大的模块(如前端模块、后桥集成模块),再送至主线进行合装。这大大减少了主线装配时间,提高了生产节拍和装配质量。

4.2 柔性化与可重构性

基于AGV的合装系统是柔性化的典范。通过软件编程即可改变AGV的路径和合装程序,轻松实现从燃油车到电动车等不同平台车型的混流生产,满足“大规模定制”需求。

4.3 数字化与智能化

(1) 数字孪生:在虚拟空间中构建与物理生产线完全对应的数字模型。通过实时数据交互,数字孪生可以用于工艺仿真、优化、故障预测和员工培训,从而在投入物理资源前验证和优化合装方案。(2) 大数据与AI质量预测:利用机器学习算法分析历史拧紧数据、设备运行参数与最终产品质量之间的关系,构建预测模型,实现对潜在装配缺陷的早期预警和主动干预。(3) 人机协同装配:在复杂工位,引入协作机器人,与工人共享工作空间,由机器人承担重复、繁重的举升或精确对准任务,工人则负责更复杂的插接、检查等作业,提升整体效率与人机工程学水平。

参考文献:

- [1] 王建国,李志强,张伟.基于AGV的汽车底盘柔性合装技术研究与应用[J].机械工程学报,2021,57(5):1-10.
- [2] 陈晓峰,刘洋.汽车总装车间底盘合装线的发展与创新[J].汽车工艺与材料,2020,(4):15-20.
- [3] Kuka AG.KUKA Flexloop-The Flexible Assembly Solution[R].Augsburg:Kuka AG,2019.
- [4] 赵辉,高磊.机器视觉在汽车底盘自动合装中的精定位技术[J].组合机床与自动化加工技术,2022,(3):120-124.

5 案例分析:AGV 柔性合装系统在某车企的应用

为验证柔性合装技术的实际效益,本文以国内某主流汽车制造商的新建工厂为例进行分析。

项目背景:该工厂需同时生产A级轿车、B级SUV和一款纯电动车型,对生产线的柔性要求极高。

解决方案:采用基于激光导航的AGV柔性合装系统替代传统的宽板链线。系统由12台举升式AGV组成,每台AGV最大举升重量可达1.5吨。

实施效果:

生产柔性提升:通过MES系统下发指令,AGV能自动识别不同车型,并调用对应的合装程序与举升轨迹,实现了三种车型的无缝混流生产,车型切换时间近乎为零。

装配精度提高:集成视觉定位系统后,合装对位精度稳定在 $\pm 0.3\text{mm}$ 以内,远高于传统工艺水平。

生产节拍优化:由于AGV与车身输送线的高度同步,以及模块化装配,该工位的生产节拍提升了15%。

维护与扩展便利:AGV系统模块化程度高,单台故障不影响全线运行。未来新增车型,仅需在软件层面进行扩展,无需硬件改造。

6.结论与展望

本文系统研究了汽车底盘合装工艺及装备技术。研究表明:(1)底盘合装工艺正经历从刚性、固定节拍向柔性、可重构的根本性转变。(2)AGV柔性合装系统、机器视觉、机器人自动拧紧等先进装备是实现这一转变的物质基础,它们共同保证了合装过程的高精度、高效率与高可靠性。(3)模块化、数字化与智能化是未来底盘合装技术发展的核心方向。数字孪生、人工智能等技术的深度融合,将推动合装系统从“自动化”向“自主化”演进。

未来,合装工艺可能演变为整个下车体的大总成对接,这对合装技术提出了新的挑战与机遇。可以预见,具备自感知、自决策、自执行能力的智能合装单元将成为下一代汽车制造工厂的标准配置。随着技术的成熟与成本的下降,主流汽车工厂将配备具备自感知、自决策、自执行能力的智能合装系统,彻底重塑汽车制造的面貌。