汽车车身总装同步工程分析

韩晓明

（艾莱克斯汽车科技有限公司，保定 071000）

摘要：针对汽车车身总装同步工程分析系统性不足、后期易出现设计变更与产线改造等问题，结合3D模拟、工艺校核、成本对比及CAE验证方法，以量产车型为研究对象，对车身吊挂孔、侧裙边、车门、铰链、防撞梁及车身附件开展同步工程分析，排查装配干涉、定位偏差、密封不良、操作空间不足等问题并给出优化方案。研究表明，在设计阶段前置开展同步工程可提前规避生产风险，优先改造工装设备更具经济性。相关优化方案均满足使用要求，可为车身总装同步工程标准化分析与新车型工艺优化提供参考。

关键词：同步工程　车身总装　装配分析　工艺优化　生产适配

中图分类号：U466　　**文献标志码：**B　　**DOI:** 10.19710/J.cnki.1003-8817.20260119

Automotive Body Final Assembly Synchronous Egineering Analysis

Han Xiaoming

(Alex Automotive Technology Co., Ltd., Baoding 071000)

Abstract: Aiming at the unsystematic simultaneous engineering analysis for vehicle body final assembly and frequent late design changes and production line modifications in domestic auto enterprises, this paper adopts 3D simulation, process inspection, cost comparison and CAE verification. It analyzes body hanging holes, side skirts, doors, hinges, anti-collision beams and body accessories of a mass-produced vehicle, and proposes solutions to assembly interference, positioning deviation, poor sealing and insufficient operating space. The results show that advanced simultaneous engineering in design phase can avoid production risks, and tooling transformation is more economical. The optimized schemes meet requirements and provide reference for standard analysis and process optimization.

Key words: Simultaneous Engineering, Body Final Assembly, Assembly Analysis, Process Optimization, Production Adaptation

1 前言

在汽车行业全球化竞争与智能化、轻量化发展趋势下，整车开发周期持续压缩，制造端与设计端的协同效率成为决定项目成败的关键。同步工程（Simultaneous Engineering，SE）作为并行工程核心技术，已广泛应用于车身、底盘、总装等开发环节，能够有效降低设计返工次数、缩短投产周期、控制制造成本。

同步工程是指对整个产品开发过程实施同步、一体化设计，促使开发者始终考虑从概念形成到用后处置的整个产品生命周期内的所有元素（包括质量、成本、进度和用户要求）的一种系统方法[1]。

同步工程的核心是将产品开发和制造生产过程中一切与其相关的工程行为组合在一起，以并行的方式统筹与实施，并将同步工程的原理方法用于研发、生产的各个部门和领域，使工作任务既按阶段有序进行，又使各任务之间交叉有信息来往，通过信息传递，使各个部门有效沟通，将失误及时发现并改正。与传统的模式相比，同步工程具有以下特点：

a. 同步性。产品开发的各个子过程尽可能同步进行。

作者简介：韩晓明（1984—），男，学士学位，助理工程师，研究方向为汽车总装工艺。

参考文献引用格式：

韩晓明. 汽车车身总装同步工程分析[J]. 汽车工艺与材料, 2026(9): 60-66.

HAN X M. Automotive Body Final Assembly Synchronous Egineering Analysis[J]. Automobile Technology & Material, 2026(9): 60-66.

b. 约束性。将约束条件提前引入产品开发过程，尽可能满足各方面要求。

c. 协调性。各子过程间密切协调以获得质量、时间、成本等方面的最佳匹配。

d. 一致性。产品开发过程的重大决策建立在全组成员意见一致的基础上。

本文以某量产车型为研究对象，对车身吊挂孔、侧裙边、车门、铰链、防撞梁及车身附件开展同步工程分析，排查装配干涉、定位偏差、密封不良、操作空间不足等问题并给出优化方案。

2　总装同步工程分析

同步工程工作阶段与整车开发阶段同时进行，并在各阶段不断进行改善，直至达到满足生产、质量、品质及成本等要求，主要阶段如表1所示。

表1　某车型开发阶段

开发阶段	阶段名称	里程碑节点
第1阶段	产品开发	项目启动
第2阶段	概念设计	方案批准
第3阶段	工程化设计开发	项目批准 工程发布 同步工程分析
第4阶段	样车试制与验证	产品和工艺验证
第5阶段	生产准备	小批量试生产
第6阶段	量产与投产	试生产 正式投产

总装同步工程分析以产品设计输入的整车3D数据为分析对象，覆盖造型、主断面、车身、开闭件、电器、底盘及内外饰件等，重点开展装配可行性、装配基准、零部件防错、零部件密封性、生产适用性等审核工作。

在工程化设计阶段开展车身总装同步工程分析，以车身吊挂孔、侧裙边、车门、铰链、附件等为核心对象，通过分析落地总装工艺要求，保障设计与制造协同。

2.1　车身总装同步工程系统边界与参数匹配框架

车身总装同步工程需建立系统化的参数匹配体系，将产品设计核心参数与产线平台边界条件进行前置校核，形成“参数输入–边界匹配–风险分级–方案决策”的标准化流程。

产品设计输入参数包括：车长、车宽、车高、整备质量、整车质心坐标($X/Y/Z$)、轴距、前后悬长度及车身底部支点分布。产线可适应的边界条件包括：提升机最大净高2 100 mm、线体作业宽度单边≥850 mm、工位有效长度6 500 mm、吊具额定负载2 500 kg、转运设备最大承载3 000 kg。

上述参数按影响程度分为3级：1级参数为整备质量、质心Z向高度，参数不匹配将导致产线核心设备报废更换，单台改造费用超50万元；2级参数为车长、车宽、车高，参数不匹配需调整工位布局或设备行程，单台改造费用5~20万元；3级参数为轴距、支点位置，参数不匹配可通过工装局部改造解决，单台改造费用1~5万元。

新能源车型的电池包使整备质量普遍提升30%~50%，质心降低100~150 mm，需重点校核吊具承载强度与托举支点受力分布。参数不匹配将导致大规模产线改造或车身设变，对项目成本与开发周期产生重大影响。本研究基于上述系统边界，对某车型车身关键部位开展专项同步工程分析。

2.2　车身与吊具同步工程分析

车身总装同步工程分析需兼顾现有产线共线生产需求，将车身数据与吊具数据进行匹配模拟，校核总装车间吊具的适配性[2]。车身前部吊挂孔规格需与现有车型一致，吊挂孔Y向中心距与吊具定位销中心距匹配，前部吊挂孔支撑面满足承载要求，后部Y向间距适配吊具托举范围。匹配过程中需规避车身与吊具干涉，确保满足总装装配工艺要求。如表2、表3所示，经总装同步工程分析，某车型车身吊挂孔孔径满足吊具规格2的要求。

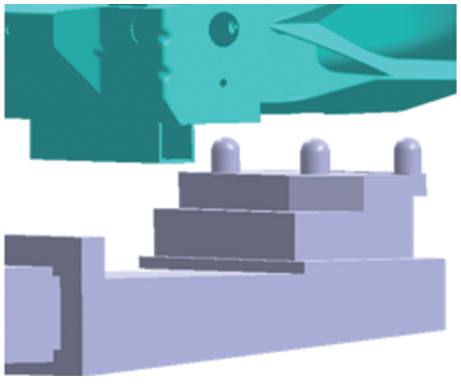
表2　某总装车间吊具参数表　　mm

定位销直径	定位销销距(Y向)	前后托举块托举(X向)距离	前托举块托举(Y向)范围	后托举块托举调整(Y向)范围
规格1：Φ23	950	1 360	932~1 172	1 354~1 510
规格2：Φ25	1 180	1 360	932~1 172	1 354~1 510
规格3：Φ24	1 130	1 360	932~1 172	1 354~1 510

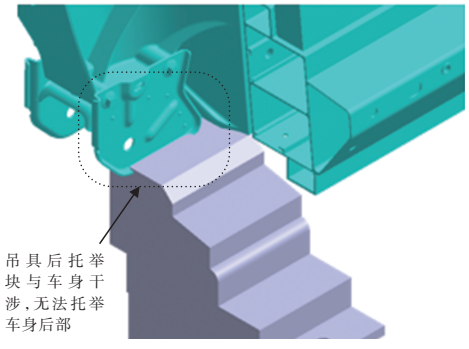
表3 某车型车身参数表 mm

项目	车身吊挂孔直径	车身吊挂孔孔距(Y向)	车身底部X向托举距离	车身底部Y向前部托举范围	车身底部Y向后部托举范围
某车型车身	Φ25	1 355	1 170	1 320~1 390	1 320~1 390
校核结果	满足要求	不满足要求	不满足要求	不满足要求	不满足要求

如图1所示,将车身数据与某总装车间吊具数据进行匹配模拟分析得出:车身吊挂孔孔距不满足吊具3种状态定位销销距Y向要求,车身底部X向托举范围不满足吊具X向托举范围要求,车身底部前、后部Y向托举范围不满足吊具前、后托举块的托举范围;吊具后托举块无法托举车身底部,且后托举块与车身干涉,同时在后悬模块举升过程中,后悬模块与吊具后托举块干涉,后悬模块不能实现举升作业。



(a)吊具前托举块



(b)吊具后托举块

图1 吊具托举块托举车身

若产品设计变更,将增加整车开发成本,同时影响整车开发周期,经成本核算,吊具改造费用低于车身更改费用。经与产品设计、设备、工艺部门研讨,确定解决方案如下:

a. 吊具前部新增托举块与定位销,适配吊挂孔Y向1 355 mm间距。

b. 吊具后部新增专属托举块,满足该车型X向、Y向托举需求。

c. 吊具后托举块Y向切除约150 mm,消除后悬模块举升干涉问题。

通过上述改造,实现该车型车身与现有吊具共线兼容,满足共线生产要求。

2.3 车身侧裙边同步工程分析

车身在总装车间由内饰线向底盘线转运时,需用设备托举车身侧裙边完成转接,同时车身侧裙边还需用底盘吊具支撑,因此,车身侧裙边要能够受力,在吊具或转挂设备支撑时不变形。某车型在工程化设计阶段,未考虑生产设备适应性。如图2所示,车身侧裙边多层板下边缘不平齐,存在约8 mm的高度差,车身侧裙边不能支撑,导致车身侧裙边下边缘变形,易产生锈蚀风险。经研讨,将车身侧裙边下边缘更改为平齐设计,经CAE强度校核分析,满足强度要求。所以在工程化设计阶段,车身侧裙边多层板下边缘要保持平齐。

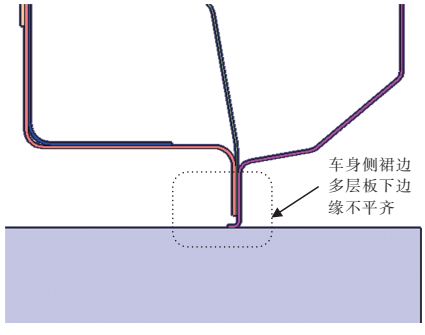


图2 吊具托举块托举车身侧裙边

2.4 车门同步工程分析

2.4.1 车门与拆卸设备同步工程分析

某车型车门在总装车间需要使用辅助设备进行拆卸,将车门数据和拆卸车门辅助设备进行匹配模拟分析。车门辅助拆装设备夹持车门内板内侧,校核车门与设备是否存在干涉,且辅助设备能否承受车门的托举质量。某车型车门内侧夹持尺寸约为710 mm,车门质量约为23 kg,车门辅助设备的夹持尺寸范围为660~860 mm,设备额定载荷为75 kg。如图3所示,经总装同步工程分析得出,车门满足拆卸车门辅助设备使用要求。

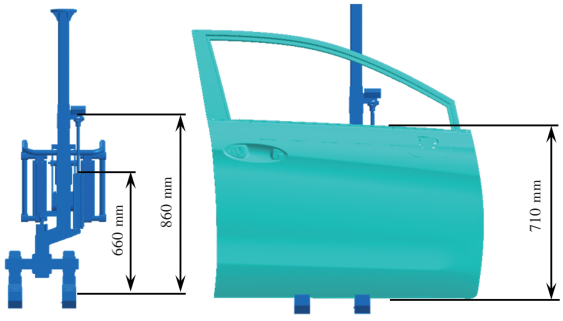
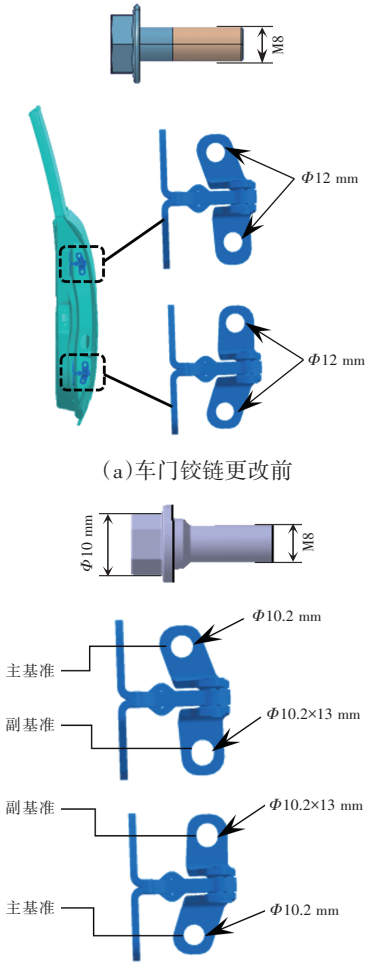


图　3拆卸车门辅助设备匹配示意

2.4.2　车门铰链同步工程分析

车门在焊装车间内完成装配，通过铰链固定在车身上，此时需将车门与车身的外观间隙和面差调整到位。随后车辆进入涂装车间进行电泳，涂装完成后，总装车间需先将车门拆下，装配车门附件、电器件及内外饰件等，再将车门分总成装配至车身。由于焊装车间调整车门与车身的外观间隙和面差时，需制作专用夹具工装，该夹具在车门和车身侧围上分别设计定位基准，并在门缝处设置定位块，加装配重块后即可将车门安装到位。但进入总装车间后，车门需拆下分装，为避免二次调整，总装同步工程分析时需重点考虑车门拆下后重新装配的问题。因此，设计车门铰链时，固定于车身侧围一侧的安装孔需设计为调整孔，调节量通常为2~3 mm；车门侧的上下2处铰链安装孔，各设置一处定位孔，定位孔径通常比安装螺栓的公称直径大0.2 mm。另一种方案是，在铰链与车门的安装孔处，安装时选用带定位凸台的螺栓可实现定位功能，其配合间隙设计为单边0.1 mm，这样进入总装车间拆车门时，铰链可保留在车身侧围一侧。

车门铰链在工程化设计阶段需充分考虑车门铰链拆卸后在总装车间的装配工艺。因此，产品设计过程中应开展总装同步工程设计，重点分析车门铰链的装配基准。某车型车门铰链安装孔尺寸为Φ12 mm，安装螺栓规格为M8，因前期设计未考虑总装车间车门复装定位基准，车门经总装拆卸分装后重新回装时缺少可靠定位约束，铰链孔位余量过大，车门安装位置容易发生偏移，造成车门与车身侧围的间隙、面差发生偏离，需要现场反复调试修正，增加总装装配工时，难以继承焊装阶段已经调好的外观匹配状态，装配一致性差。针对以上问题提出改进方案：调整车门铰链安装孔尺寸，增设定位基准，将拧紧螺栓改为定心螺栓，即采用自作用对准及定位方式[3]。优化后，该车型车门分装后可快速、准确装配至车身钣金上，二次拆卸车门后，无需再次调整即可保证间隙面差符合要求，具体数据如图4所示。



(a)车门铰链更改前

(b)车门铰链更改后

图4　某车型车门铰链改进对比

2.5　前防撞梁同步工程分析

车身前防撞梁一般需在总装车间进行拆卸，需总装同步工程分析前防撞梁的连接部位是否满足工具操作空间。如图5、图6所示，某车型前防撞梁经与拆卸工具匹配模拟分析，前防撞梁与车身纵梁的连接部位，凸焊螺柱外露长度为14 mm，选用套筒规格为：套筒直径19 mm、套筒长度65 mm、拆卸螺栓端深度25 mm。最后选用气动棘轮拆卸工具，气动棘轮厚度约为16.2 mm，工具总长度约为95.2 mm,而前防撞梁径向空间间隙经测量为96.7 mm。最终得出拆卸工具与周边件径向

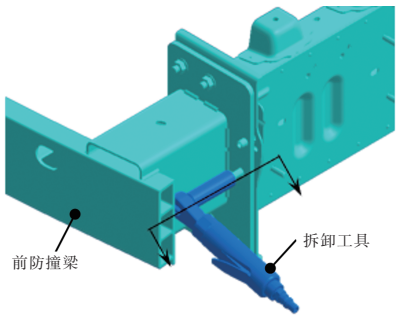


图5 某车型前防撞梁匹配拆卸工具示意

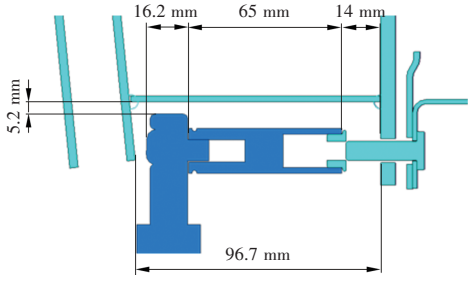


图6 某车型前防撞梁匹配拆卸工具剖面

间隙约为1.5 mm，测量得拆卸工具与周边件轴向间隙约为5.2 mm，如图6所示。

在选用拆卸工具拆卸过程中，需考虑拆卸工具的震动因素，拆卸工具与周边零部件间隙目标值应不小于7 mm，即拆卸工具与前防撞梁轴向、径向间隙应不小于7 mm。

某车型前防撞梁与车身纵梁连接部位的总装同步工程分析结论为：

a. 工具操作空间（轴向）大于5.2 mm（目标值7 mm）时可接受，满足工具操作空间要求。

b. 工具操作空间（径向）小于1.5 mm（目标值7 mm）时气动棘轮拆卸工具存在与周边件干涉风险，不可接受。

与产品设计人员协同分析后，留出了足够的工具活动空间。对车身的前防撞梁进行优化改进，切除前防撞梁切干涉部位，经CAE强度校核分析后满足要求。

2.6 车身附件分析

对车身附件进行总装同步工程分析时，需分析零部件防错特性，以便现场操作人员识别，提高生产效率。车身附件还需分析零部件密封性，主要以车门排水孔、防水膜、后背门铰链等为例分析密封性，避免漏水问题发生，以提高整车密封性。同时根据零部件结构特点分析装配可行性，以前舱盖锁拉线为例分析装配可行性。

2.6.1 车身附件防错分析

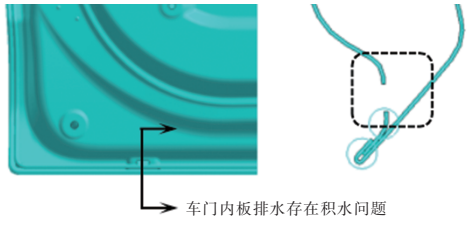
车身附件的零部件结构大多左右对称，结构相似，但装配在车身上装配位置不同。在总装车间装配时工人区分不便，易造成错装风险，因此，在产品工程化设计阶段中应同步分析零部件防错特性。如图7所示，某车型的左右安装支架左右对称，2零件结构相似，在装配时易错装，所以在总装同步工程分析时，对零部件采取防错工艺设计。在左右安装支架分别增加L、R标识，增加零部件辨识度[4]，避免在装配时错装，提高生产效率。



图7 某车型左右安装支架增加防错标识示意

2.6.2 车门排水孔分析

某车型车门内板排水孔结构设计，排水孔处易存在积水风险，排水不彻底，易产生车门内板锈蚀风险，影响整车质量。经总装同步工程分析，对车门内板的排水孔提出改进方案，车门排水孔最下沿是外板与内板贴合处，如图8所示。



（a）更改前



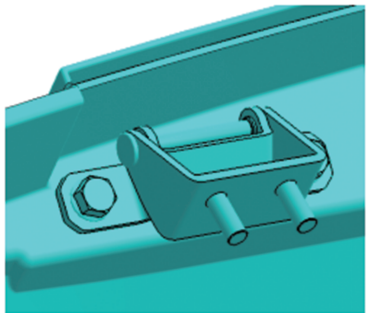
（b）更改后

图8 某车型车门排水孔改进对比

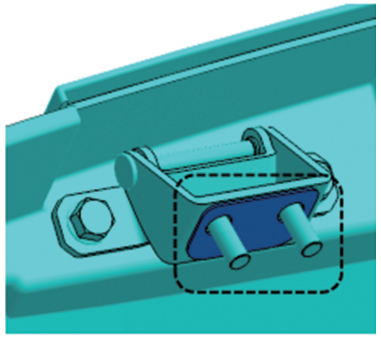
2.6.3 后背门铰链密封性分析

在总装同步工程分析时，某车型后背门铰链与车身钣金螺栓连接部位无密封设置，连接部位易出现漏水风险，影响整车密封性。如图9所示，

在后背门铰链与车身配接部位增加垫片，垫片为非金属软垫片，在拧紧螺纹时，垫片不仅承受压紧力，而且还承受转矩，使垫片产生扭矩变形[5]。



（a）车门铰链更改前



（b）车门铰链更改后

图 9　某车型后背门铰链改密封性改进对比

2.6.4　车门防水膜密封性分析

防水膜的密封一般通过胶条粘接到车门内侧钣金上，在总装同步工程分析中，应分析密封性。某车型车门防水膜胶条粘接区域处在钣金坡度上，防水膜胶条粘接不牢固，在淋雨检测过程中雨水存在从胶条与钣金内侧的缝隙流入风险，密封性不是。如图 10 所示，车门防水膜胶条区域为平面，不能有坡度，将车门钣金的防水膜胶条粘接面区域进行结构优化，车门钣金内侧坡度更改为平面设计，避免防水膜胶条粘贴不牢固。

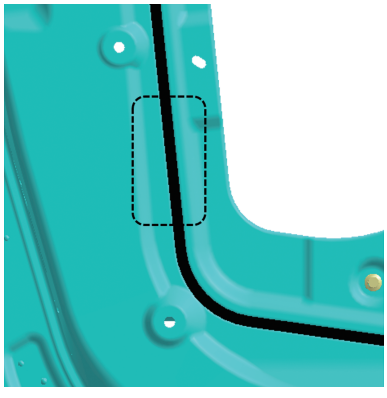
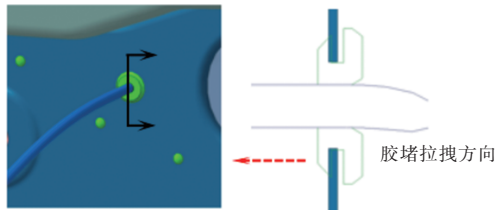


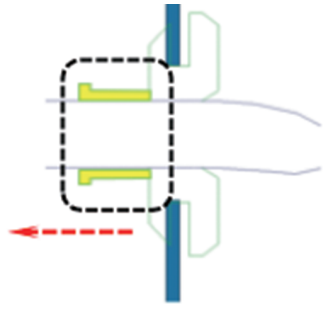
图 10　车门防水膜胶条粘接面要求示意

2.6.5　前舱盖锁拉线装配可行性分析

某车型前舱盖锁拉线的过线胶堵无加长护套设置，胶堵穿孔作业需在驾驶舱侧进行拉拽，人员操作不便。对前舱盖锁拉线进行总装同步工程分析时，提出工艺改进方案，对前舱盖锁拉线过线胶堵增加加长护套，如图 11 所示。



（a）更改前



（b）更改后

图 11　某车型前舱盖锁拉线改进对比

3　结束语

通过对某车型车身吊挂孔、侧裙边、车门系统、前防撞梁及车身附件开展总装同步工程分析，明确了车身结构与总装吊具、转运设备、拆装工具、装配工艺之间的匹配约束，揭示了尺寸偏差、定位缺失、结构坡度、密封不足、操作空间偏小等问题对量产一致性与整车品质的影响规律。研究表明，在工程化设计阶段前置总装工艺约束，可有效避免后期大规模设变，工装改造比车身更改更具经济性。

本文所提出的铰链定位优化、防错标识、排水孔优化、密封垫片增设、操作空间放大等方案，经匹配校核与 CAE 验证均满足生产要求。本研究未覆盖多车型混线生产的动态调度与柔性工装适配问题，部分极端工况下的装配稳定性仍需实车验证。与现有研究相比，本文更侧重车身关键部位与总装工装的量化匹配分析，可为同类车型总装 SE 提供参考。未来应建立车身总装同步工程边界

条件平台化数据库，通过系统积累各车型参数匹配案例与问题解决方案，逐步开发基于大数据的智能分析模型，最终实现同步工程问题的自动识别与方案智能推荐，进一步提升汽车开发协同效率。

参考文献：

[1] 王刚. A车身公司总装车间精益工厂管理优化研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2025.

[2] 占细雄, 刘杰军, 郎庆东, 等. 总装车身间隙平度动态自动测量系统[J]. 汽车工艺师, 2025(Z1): 17-19.

[3] 孙振, 张沛骐, 刘明. 同步工程(SE)在车身工艺开发中的应用[J]. 汽车维修技师, 2024, 22: 117-118.

[4] 陈锋楠. 关于汽车总装工艺技术的研究分析[J]. 内燃机与配件, 2022, 4: 54-56.

[5] 王守良, 巩安周, 李金晶, 等. 总装工艺-同步工程分析与运用[C]// 2019中国汽车工程学会年会论文集(5). 机械工业出版社, 2019: 218-221.

AT&M