

内骨骼车身高精度、精益智能化焊装 技术研究及应用

徐亚隆，杨进荣，李海瑞，胡宁
东风本田汽车有限公司

【摘要】 随着人们对汽车性能要求的不断提高，轻量化和智能化成为未来汽车的发展方向，内骨骼车身结构是汽车轻量化的革命性技术，由于其工艺技术复杂且精度要求高，关键技术大都被国外垄断。东风本田汽车有限公司通过多年技术攻关，在本田全球体系内首次实现了内骨骼车身核心工艺技术的自主化，其作为车身轻量化和电动化的关键技术，在本田多款车型上得到量产应用。该工艺技术在车身精度、生产效率、柔性化等技术指标上达到了国际先进水平，对主机厂提高车身焊装精度及生产效率、降低制造及质量成本具有极大的参考价值。本文对内骨骼车身高精度、高效率、柔性化、智能化焊装技术的设计及应用进行了详细阐述，并以内骨骼侧围总成工艺线体设计为例展开说明。

【关键词】 焊装，高精度，高效率，柔性化，智能制造

**Research and Application of High-precision, Lean and Intelligent Welding
Technology for Internal Skeleton Vehicle**
Xu Yalong, Yang Jinrong, Li Hairui, Hu Ning
Dongfeng Honda Motor Co., Ltd.

Abstract: With the continuous improvement of people's requirements for vehicle performance, lightweight and intelligent become the development direction of future vehicles. The skeleton body structure is a revolutionary technology for vehicle lightweight. Because of its complex process technology and high precision requirements, the key technologies are mostly monopolized by foreign countries. Dongfeng Honda Motor Co., Ltd. has achieved the localization of the core technology of the internal skeleton body in the Honda global system for the first time through many years of technical research. As the key technology of lightweight and electrification body, it has been applied in mass production on many Honda models; This process technology has reached the international advanced level in terms of body accuracy, production efficiency, flexibility and other technical indicators, and has great reference value for the main engine factory to improve the body welding accuracy and production efficiency, and reduce the manufacturing and quality costs. This paper describes in detail the design and application of the height accuracy, efficiency, flexibility, and intelligent welding technology of the skeleton car, and illustrates the design of the skeleton side assembly process line body as an example.

Key words: welding, high-precision, high efficiency, flexibility, intelligent manufacturing

引言

轻量化和智能化是未来汽车发展的趋势，近年来，汽车行业面临着供应链受阻、成本上升等多方面挑战，国内车企需要加强核心技术及供应链自主化，通过提高产品性能来提升竞争力。

为扩大车身轻量化优势，本田汽车自 2018 年起开始在全部车型应用内骨骼车身结构（图 1），其在减少车身螺栓连接件的同时，增加了车身焊点，从而提高了整车刚性，降

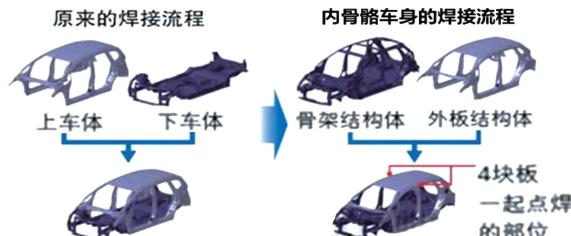


图 1 内骨骼车身结构差异

低车身成本的同时提升了性能^[1]。但由于其工艺复杂，需要同时完成侧围、底盘及加强梁等部品的拼装，其精度要求较以往的侧围总成总拼工艺更高，并直接决定整车精度，实施风险大，国内类似线体大都被国外技术垄断。

内骨骼车身组成部品多（图 2）、焊点密集，为满足多车

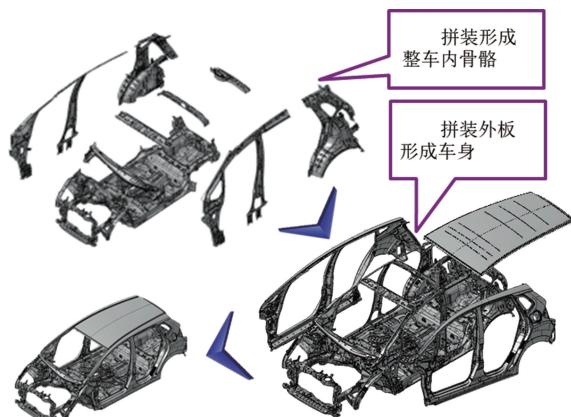


图 2 内骨骼车身组成

型共线生产及生产节拍要求，类似线体大都采用多站位形式，占地面积大、投入设备多、成本高^[2]。东风本田汽车有限公司通过多年技术攻关，在2021年完成了内骨骼核心工艺技术及侧围线体的自主研制及量产应用，主要性能均达到或高出本田车身工艺要求，在车身精度、生产效率、柔性化等技术指标上达到国际先进水平。下面对内骨骼车身高精度、精益智能化焊装技术的设计及应用进行详细阐述。

1 总体设计

自动线设计目标是用最优的成本打造精度、效率、柔性、智能化水平均达到行业领先水平的自动化焊装线体。为达成以上目标，通过调研行业技术现状及车型工艺需求，考虑在以下几个方面施策：

1) 高精度：构建内骨骼车身高精度保证体系，研发导入高精度车型夹具、定位工装及车型定位切换装置等；

2) 高效率：充分利用线体空间进行立体化布局，削减设备动作路径，提高运行节拍；活用自动化设备，实现焊接、搬运、涂胶、输送自动化。

3) 高柔性：设计6车型通用夹具/抓手/台车，实现多车型共线生产；设计多车型自动切换装置，提升车型切换效率。

4) 低成本：设备国产化及核心技术自主化；车型夹具、台车、抓手等通用化设计，削减车型专用投资；最大化活用设备及空间，提高机器人利用率，通过集中上件等形式实现作业效率最大化。

5) 智能化：应用虚拟调试技术，实现线体虚实联动及离线调试；导入设备在线监控诊断系统，提升设备开动率；导入焊接品质在线监控系统，实现焊接参数及品质在线实时监控及自适应优化。

2 详细技术设计

2.1 人工作业工艺及装备技术

1) 采用集中上件方式，所有零部件设置在同一上件工位，通过统一调配作业内容、丰富作业编程、减少人员作业工时闲置和设备等待等实现人员作业效率最大化（图3）。

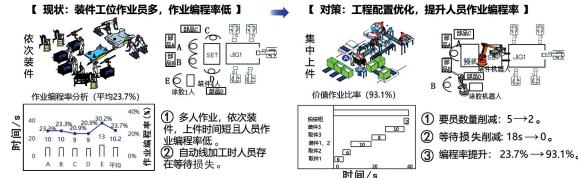


图3 集中上件方案

2) 上件夹具或预装台尽量考虑车型通用，通过设计多面体夹具、车型定位部装共用或伺服化、自动化切换等方式实现多车型共用，减少车型切换以提高生产效率。

3) 必须进行车型切换的工位，通过夹具自动化切换或者设计轻量化切换装置实现人工轻便切换，提高车型切换效率。

2.2 零部件加工工艺及装备技术

1) 零部件拼装优先采用整体夹具以保证拼装精度，避

免插拔件等不稳定的定位形式，针对分体式定位夹具采用“机械互锁装置+电气联锁”实现各夹具间形成刚性绝对精度连接（图4），以保证整体的拼装精度。

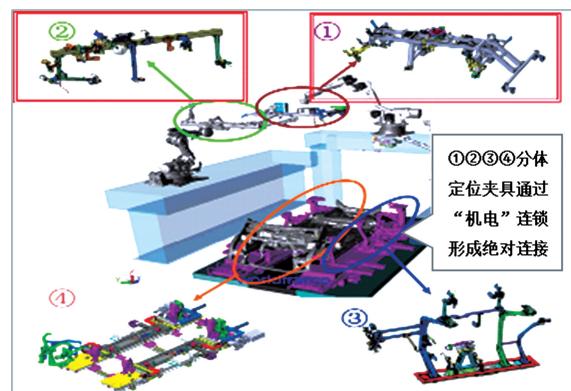


图4 分体式定位夹具拼装精度保证

2) 自动焊接加工采用“夹具定位焊接+机器人抓取空中补焊”形式，实现焊接机器人利用率最大化。

3) 自动涂胶优先考虑搬运机器人搬运零件至定置胶枪涂胶作业，搬运机器人节拍不足时增加涂胶机器人涂胶；选用涂胶机器人时，可同时配置多把胶枪及涂胶系统以对应多种型号涂胶作业，提高通用设备利用率。

2.3 零部件转运工艺及装备技术

1) 自动搬运采用机器人搬运或自动输送线等形式，搬运抓手及台车进行通用化设计或自动切换，同时兼容现有车型并预留未来车型定位功能，削减专用设备投资。

2) 输送线设计充分利用立体空间，减少地面占用，提高地面物流效率。

3) 同时考虑线体间稼动影响、车型切换时间、现场物流空间等因素，结合理论计算和数字物流仿真软件进行零部件库存数设计（图5）。

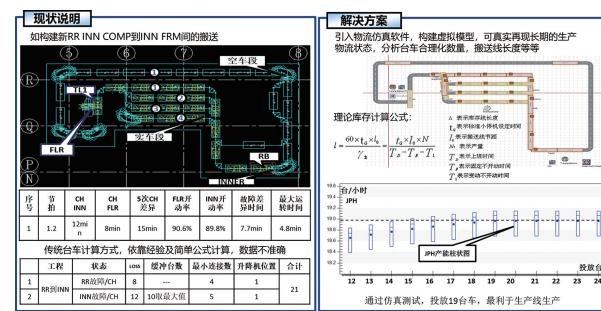


图5 输送线参数设计

3 技术应用举例

3.1 兼顾精度与切换效率的组合夹具结构技术

针对大型夹具，可能存在由于空间限制无法做成整体结构而需要采用插拔件切换定位部装的方式，插拔件在使用一段时间后往往会发生精度超差，而且车型切换时人工更换插拔件耗时费力。

为改善这一课题，我们设计出了一种组合夹具式样

(图 6)，其将一套夹具分为 2 个部分，前定位部分需要多个零件拼装后进行夹具焊接作业，其定位部装数量较多，因此该部分单独采用专用切换夹具式样并实现自动切换。后定位部分为一套分总成零件，通过分析各车型的定位数据发现其可以采用“通用定位销+伺服切换部装”实现全车型的共用。根据零件整体的定位需求以及定位部装的分布合理设计专用部和通用部，既保证了大型部品的整体定位精度，又减少了专用夹具的尺寸和定位部装，降低了夹具复杂度和成本，车型切换时不需要人工更换插拔件，大大提高了切换效率，该方案可推广应用至中大型夹具的设计中。

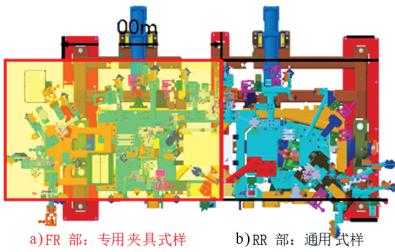
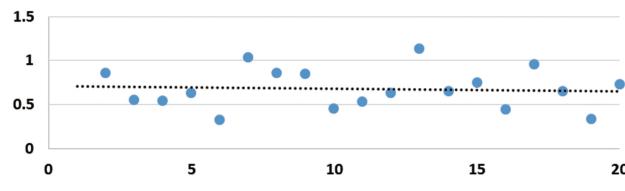


图 6 组合夹具式样

3.2 高精度定位切换装置技术

传统的定位部装插拔切换装置一般为“销孔+螺栓锁

单位/mm



a) 传统插拔装置重复定位精度（改善前）

图 8 重复定位精度对比

3.3 多面体夹具+立体存储技术

采用多面体夹具及立体存放库（图 9）可以减少夹具数量和地面存放面积，提高空间利用率，削减车型夹具及存放成本，同时提高车型切换效率。后续车型只需要更换车型专用定位部装即可，无需对夹具通用部分进行再做，削减后续车型夹具费用 50% 以上。

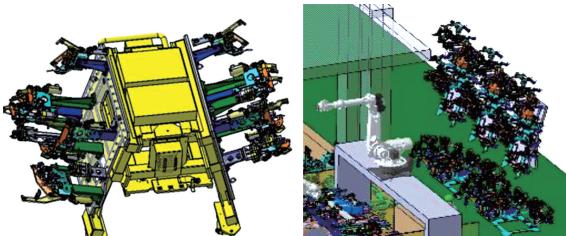


图 9 多面体夹具及立体存放库

侧围分总成零件采用了空中搬送线形式，自动线加工完的分总成零件通过搬运机器人自动放置在搬运台车上。通过摩擦轮驱动台车自动输送至侧围总拼线体，并由搬运机器人从搬运台上抓取零件并放置在侧围夹具上完成定位。为了提高线体空间利用率，通过采用剪刀叉升降机并自主设计了

紧”形式，插拔件在重复使用一段时间后，相关定位及锁紧面会发生磨损导致定位部装的精度超差。

为改善这一问题，我们设计出了一种采用“锥面定位+气动锁紧”的定位切换装置，如图 7 所示。通过自动控制气路驱动定位部装连接部位的定位锥面压紧与分离，实现定位部装的自动锁紧与分离。气压压紧能够始终保持定位面的零间隙，试验测试数据表明重复定位精度可提升至 0.1mm 内，如图 8 所示，达到行业最佳水平。而且锥面定位结构不容易磨损，经测试其使用寿命可以达到百万次，部装更换时无需人工拆除及拧紧螺栓，大大降低了作业强度，同时提高了部装定位精度与切换效率。

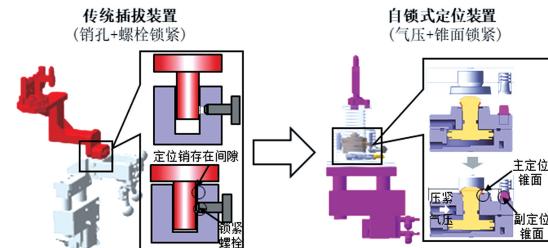
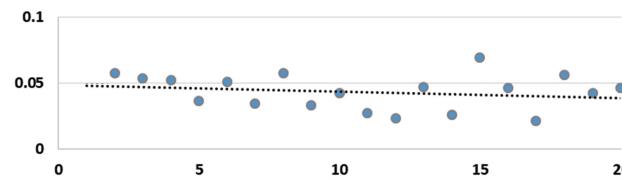


图 7 高精度定位切换装置

单位/mm



b) 自锁式定位装置重复定位精度（改善后）

搬运台车往复定位装置，实现三层物流、循环输送的立体搬运方案（图 10）。空中立体搬运较传统的地面存储削减物流占地面积 90% 以上，提高了线体间物流效率，避免了地面物流周边人、物、料等因素导致的零件搬运异常，提高了分总成零件精度保证能力，同时自动化输送及机器人上下件也削减了物流及人工成本。

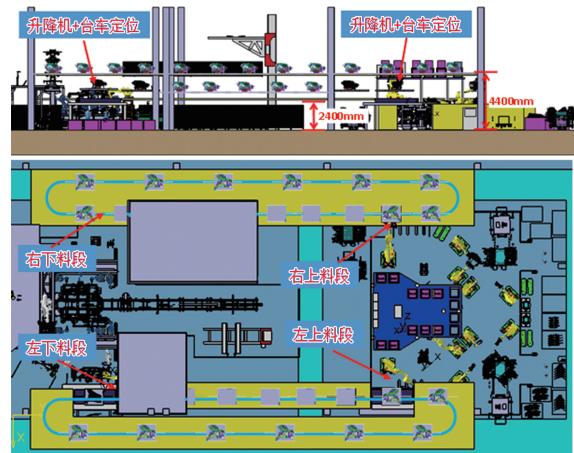


图 10 分总成立体搬送线

3.4 抓手/台车通用化技术

抓手通用化设计方案举例，如图 11 所示，选取不同车型零件的直径相同基准孔或基准面，将孔重心/面重心合并在此处，设置通用定位销/夹紧面，再绕此基准孔/基准面旋转不同车型零件角度至两向伺服轴定位部装，另外根据零件形状再布置各车型切换面夹紧部装。

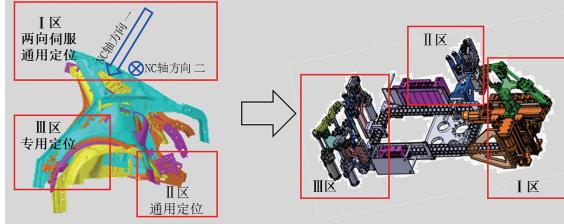


图 11 抓手通用化设计

采用通用化搬运台车，与上面类似，选取车型直径相同的基准孔/基准面，配合各车型零件专用基准孔，再分别设置各车型专用定位支撑，实现 6 车型定位部装集成于一个台车（图 12）。

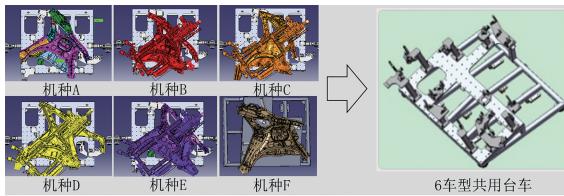


图 12 台车通用化设计

机器人抓手/台车的通用化设计可以削减后期车型投资及设备维护费用 80% 以上，提高了车型切换效率。

3.5 虚拟调试技术

通过设计、扫描、反导等技术构建与现场一致的数字化生产线虚拟环境（图 13），通过生产线信息实时同步实现虚拟与现实孪生同步。在车型新设备导入及调试过程中提供真实有效的虚拟仿真环境，在虚拟环境下提前验证生产程序的精度及完整度等，可以大幅削减现场调试时间，削减新车型设备导入周期及费用。

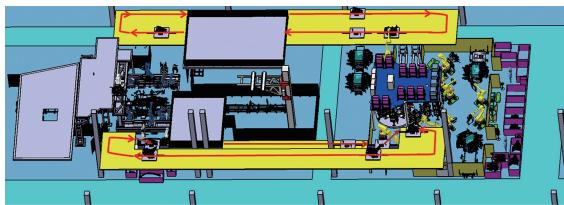


图 13 数字化生产线

3.6 信息数字化技术

1) 目视化系统（图 14）：在人工作业工位设置显示屏，显示屏系统实时读取生产线信息并在显示屏界面推送当前车型的作业指导、车型派生、产量等信息，帮助作业员提高作业效率及精度，同时可实现生产账票文件的电子化，实现无纸化、数字化生产管理，提高生产效率及质量。

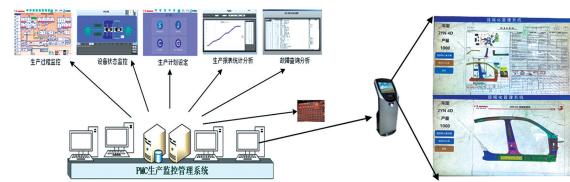


图 14 目视化系统

2) 设备预防维护及诊断系统（图 15）：针对机器人等关键设备的实时运行状态及参数等进行信息收集并上传至服务器系统。通过对设备运行状态信息进行实时监控与分析，提示进行设备预防维护及保养，减少设备突发异常停机事项，实现由事后保全向预防保全的转变。

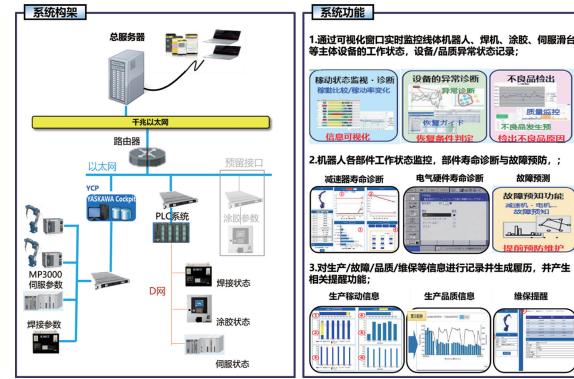


图 15 设备预防维护及诊断系统

3) 品质信息系统：对焊接参数、涂胶参数等进行实时在线监控收集，实现品质异常履历高效精准追溯。

3.7 车型切换防错技术

通过车型编码与识别技术实现多车型共线生产及车型自动校对，提高车型切换效率及精度，其基本原理如下：

- 1) 通过射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）及电气系统数据寄存器等对不同车型零件抓手及台车进行编码，并通过 RFID 读写器等进行识别。
- 2) 抓手及台车号必须与下一零件号匹配才能进行车型切换。
- 3) 只有自动切换才能更改当前台车及抓手记忆。
- 4) 整线车型记忆进行实时堆栈转换校对。
- 5) 机器人抓手及台车记忆必须与整线记忆序列匹配才能自动运行，否则警告停止。

4 结论

兼顾精度与切换效率的组合夹具结构技术，在满足内骨骼车身精度要求的同时削减了车型夹具成本，提高了车型切换效率。

高精度定位快换装置、多车型集成抓手/台车、车型切换防错技术等可以大大提升自动线车型切换精度及效率，获得多项国家发明专利^[3-5]，其技术应用可满足单线体 6 车型的共线生产，线体加工精度、车型切换效率及柔性化程度均达到国际领先水平。

行业首创的多车型共用夹具及空中立体搬运技术，集中上件工艺布局及要员编程率、机器人利用率的最大化利用，

大大提高了线体的物流及生产效率，线体生产节拍达到43s/台（居行业首位），生产效率及单线产能达到国际领先水平。

虚拟调试、设备自诊断及焊接自适应等数字制造技术的应用，可以削减车型设备导入周期及费用30%以上，提升了车型成本优势，同时实现了设备状态及生产品质的实时监控及追溯，使得线体的稼动率及品质性能国内领先。

综上，通过高精度、精益智能化焊装技术的设计及应用，提升了内骨骼车身精度、自动线生产效率及柔性化程度，降低了车型成本，满足车身轻量化及性能要求，为后续电动化车型导入建立了优势，推动了汽车制造产业链向自主化、高级化、智能化进步，对汽车行业制造技术的发展具有示范作用。

参 考 文 献

- [1] 庄红韬. 内骨架结构：汽车制造的一大革新 [EB/OL]. (2013-9-29) [2023-7-1]. finance.people.com/n/2013/0929/c348883-23072569.html.
- [2] 焉知汽车轻量化. 汽车白车身焊接总拼技术分析 [EB/OL]. (2019-07-30) [2023-5-24]. www.renrendoc.com/paper/267536447.html.
- [3] 东风本田汽车有限公司. 一种部装定位连接装置及定位连接方法: 202111150633.7 [P]. 2021-09-29.
- [4] 东风本田汽车有限公司. 一种汽车零件定位存放装置和台车: 202110482997.9 [P]. 2021-04-30.
- [5] 东风本田汽车有限公司. 基于端拾器识别的车型切换防错装置及其使用方法: 202011051066.5 [P]. 2020-09-29.