

汽车总装“智”造的探索与应用

吴涛

伟景崇聚能源科技（珠海）有限公司

摘要：通过介绍返修车辆定位和抢单系统、灯光拣选和备胎自动搭载的解决方案和成果，从车辆检测返修流程（检测）、工艺装配指导（装配）及设备自动化（设备）三个案例阐述汽车总装车间在智能制造方面的探索和应用。改善装配效率和质量，优化返修流程，提升管理体系水平，将成为汽车公司往数字化、智能化方面的转型发展的必然趋势。

关键词：车辆定位系统；抢单系统；RTLS；DBN；视觉检测

0 前言

某汽车公司总装车间已经批量生产多款车型，但在车辆返修检测流程（检测）、工艺装配指导（装配）和设备自动化（设备）等方面仍有一定的优化空间，内部需求也逐步往智能化方面发展。现以返修车辆定位和抢单系统（检测）、灯光拣选（装配）以及备胎自动搭载（设备）三个具体案例进行相关背景、技术原理、解决方案及案例成果介绍。

1 返修车辆定位和抢单系统

总装车间检测返修区域在进行生产节拍提升中发现，之前该区域的生产节拍、均衡性、返修车及特殊车辆的查找跟踪和车辆返修轨迹追踪等管理工作，大多通过手工查找统计并结合历史经验的方式进行，缺少自动化系统工具及实际数据的支持，生产管理提升工作面临较大困难。如何提升检测返修效率、降低检测返修成本和管理浪费，成为工程师研究的重要课题。计划引入互联网思维的返修任务抢单、派单创新模式，配合总装检测返

修区域管理优化提升。

1.1 技术原理

(1) 基于 RTLS 的检测返修车辆定位系统

要实现检测返修生产节拍、均衡性、检测返修车及特殊车辆的查找跟踪管理效率，清晰明了车辆检测返修轨迹追踪管理，首先要实现车辆位置的追踪，也就是车辆定位系统搭建。

RTLS 指通过 RFID、WiFi 等技术，在一个指定空间区域（办公楼、车间、工厂和园区等）实时或者接近实时地对目标定位的系统。系统主要由定位标签、定位感应器、集线器和监控平台等组成。

定位单元包括定位标签（主线下线点挂车辆标识标签与车号捆绑，终检交车点拆除车辆标识标签并与车号解绑）、定位基站（定位识别）、定位引擎及监控终端（位置定位计算与监控）。

定位架构包括采集设备层、结算层和应用层（基础应用软件、特色需求开发与第三方接口）。

车辆定位系统原理与单元架构示意图如图 1 所示。

通过定位标签和现场感应器网络，结合后台数据解

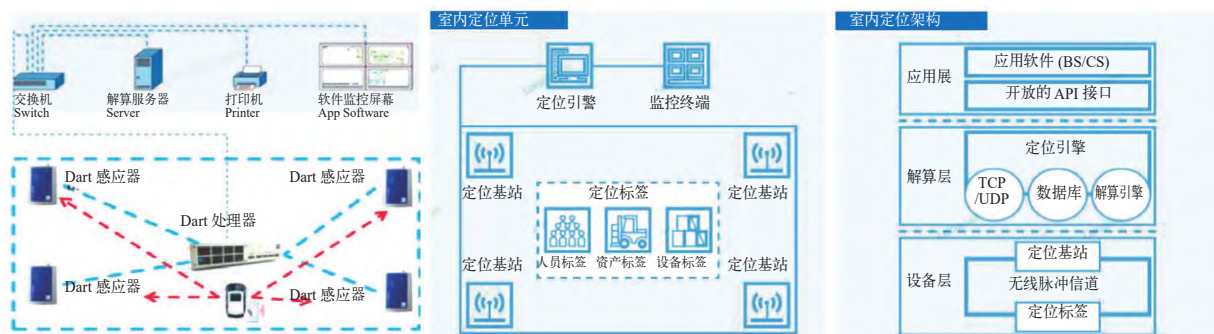


图 1 RTLS 车辆定位系统原理与单元架构示意

析计算，可以实现实时查找车辆位置，省时省力，方便后续其它业务开展，如实时要货、抢单业务和返修管理优化开展。

(2) 基于深度置信网络 (DBN) 任务分配学习和虚拟成本中心技术的返修抢单系统

DBN 算法是神经网络的一种，是一个概率生成模型，通过训练其神经元间的权重，可以让整个神经网络按照最大概率来生成训练数据。DBN 由多层神经元构成，分为显性神经元和隐性神经元。显元用于接受输入，隐性神经元用于提取特征，因此隐性神经元也有个别名：特征检测器 (Feature Detectors)。

利用 DBN 算法，分析返修区域人员修车数据，结合返修任务初始时间与成本值定义标准，根据任务完成情况和期望值的对比，尝试实现由系统对任务匹配最佳人员，最终实现由系统自动匹配返修人员实现缺陷快速修复。同时根据人员修复车辆缺陷类型、修复时长等不断累积的数据，计算出员工的能力模型和进行评价和建议。

建立可细化到车间、工段等环节的虚拟成本中心，对各环节产生的质量问题定义并进行成本定价。根据缺陷修复标准数据获取初始成本值，同时根据不同环节产生的问题进行差异化的成本计算。由此建立虚拟支付机制，根据返修任务中的缺陷类型和缺陷等级，判断相应的成本，并且在返修完成后，从出问题的成本中心，把成本结算到返修区成本中心，并以此为根据进行各成本中心月度奖金结算。

1.2 解决方案

返修车辆定位和抢单系统中，车辆定位模块和返修任务抢单模块各自能够独立衍生一系列子功能，又能相互联系形成更加强大的综合车辆管理系统。该系统可以在移动端和电脑端使用，实现设定查询和报表功能，且

可在电脑端导出所有后台数据进行二次分析。系统功能如图 2 所示。

(1) 车辆实时定位模块

车辆快速定位查找与轨迹追踪：通过底盘号或 KNR 号实时查询车辆当前具体位置、车辆在返修区域的历史轨迹以及在各点的停留时长，便于找车、进行滞留车管理和质量问题分析追溯。

车辆分布实时统计：可以实时查询整个返修区域各点的滞留车分布状态，各点车数一目了然。

按时间段统计各点滞留车数、进出车数和平均工时：可以查询各点在不同时间段的滞留车数变化趋势和该返修点均衡状态，从而得出该专业的劳动负荷情况以及缺陷平均返修工时。

各点工位负载情况和超期车数：可以实时查询各点每一个工位的负载情况、当前负载工位上的车辆滞留时长，对于超时滞留的工位进行亮红预警，便于进行超期滞留车监督管理。

(2) 返修任务抢单模块

任务管理：员工可通过此界面查看主线下线时已生成订单的缺陷车辆信息，管理人员可在此界面对超时无人抢单任务进行手动分配，对特殊车辆进行留车处理；任务管理功能中，由工匠根据缺陷信息选择对应的返修方案，以及把选择好返修方案的返修任务发布至抢单任务池中。

任务抢单：员工可以在此界面进行缺陷任务选择或抢单。任务管理中发布的任务信息，在这里可以显示，只有符合条件的人员可以查看到这些任务（在岗、个人技能满足任务条件和所在区域符合条件）。每个返修人员最多可以同时接取 5 个返修任务，超过再抢单则提示信息。

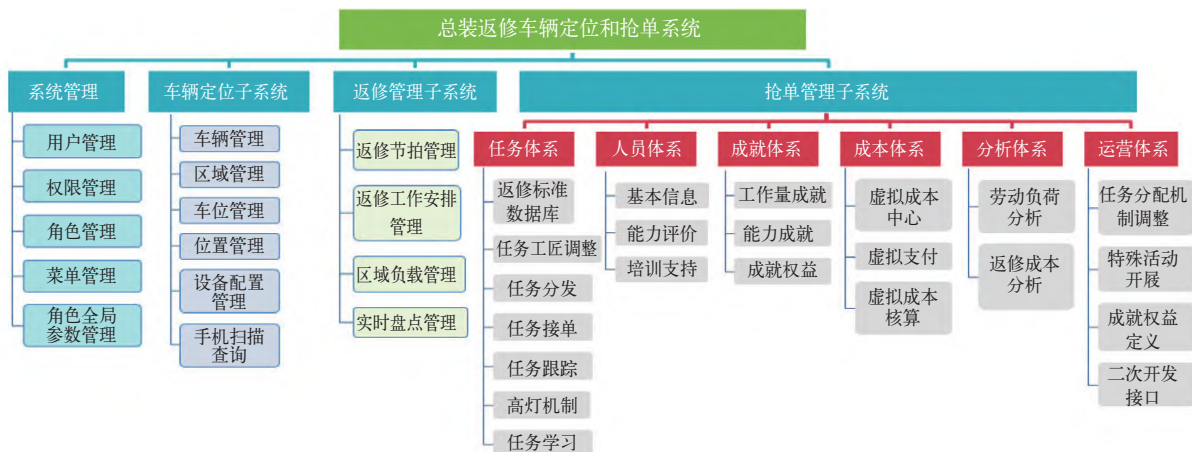


图 2 返修车辆定位和抢单系统功能示意

任务跟踪：员工可以在此界面进行缺陷任务提交以及后续进度查询。

劳动负荷率分析：管理人员可以通过此界面按时间段查询所有员工的劳动负荷率情况。需要用人员的劳动负荷率与返修区平均值进行对比分析。劳动负荷率 = 维修工时 / 出勤时间。

人员能力分析：管理人员可以通过此界面按时间段查询所有员工的返修缺陷终检通过率情况。需要用人员的能力与返修区平均值进行对比分析。

缺陷返修工时统计：管理人员可以通过此界面查询抢单任务对应的所有缺陷的平均返修工时信息。

缺陷管理：系统中通过 FTP 的方式取得缺陷数据并导入服务器数据库中。缺陷信息可进行维护管理。

1.3 案例成果

返修车辆定位和抢单系统对车辆的所在位置、员工的劳动负荷及车流状态进行实时监控。移动端 App 中包含修理通知单、部分订单及车辆的具体位置等信息，为返修人员提供了极大的便利，全过程多维度的数据分析与可视化管理，也为全员工作效率的提升奠定坚实的基础。系统的应用使返修区域劳动负荷率由 82% 提升至 90%，单车平均找车时间从 11 min 缩减到 5 s，看板要货时间从 150 min 缩减到 30 min，JIT 要货时间从 270 min 缩减到 96 min。滞留车辆减少 30 台，节约资金占用 450 万元，减少空间占用 980 m²，人员跨专业技能提升 1 倍。该系统的成果不仅给该公司带来巨大的经济效益，也给汽车制造带来全新的实践方式，颠覆传统的互联网思维助力汽车行业“智”造总装的探索与应用。

2 灯光拣选

总装车间生产线柔性达到 100%，多款车型同时生产，在很多工位存在多种选装关系，操作者需要根据不同的 PR 号（原始特征码）来识别车辆的高低配置，进而去线旁选取零件进行安装。一旦 PR 记忆错误或者与 PR 号对应的零件号记忆混淆，就很容易出现错装和漏装，带来质量缺陷和返修成本。计划引入车身定位系统和灯光拣选技术进行优化。

2.1 技术原理

(1) 基于条码识别和速度积分的车身定位技术

条码识别技术是指利用光电转换设备对条形码进行识别的技术。具备输入速度快、可靠性高、采集信息量大和灵活实用的特点。在车辆车身上粘贴条形码，当车辆经过某一装有条形码扫码器位置时，通过扫描即可获

得该车辆的信息。

通过速度对时间的积分可以获得位移。在汽车流水生产线上，如果实时获取生产线体的速度，再进行积分，再结合车辆通过扫码器的初始时间（假设扫码器安装在流水线起始工位，位置为 0）就可以清晰地算出任意时刻某一车辆在流水线的位置。

$$S = \sum \int_0^t V dt \quad (1)$$

式中， S 为车辆实时位置（mm）； V 为产线运行速度（mm/s）； t 为产线运行时间（s）。

结合条码识别获得的车辆信息，就可以计算出流水线上任意时刻、任意工位上存在的车辆信息。将计算出来的车辆信息和位置信息存储于程序 DB 中，以便进行其余的业务功能的开展，这样就完成整线的车身定位系统搭建，如图 3 所示。

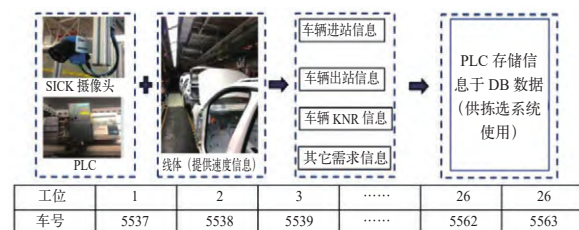


图 3 车身定位系统原理及车辆定位信息

(2) 基于 FIS 系统 PR 号的灯光拣选技术

FIS 系统是某公司汽车生产过程中的一个生产控制信息集成系统，它涉及工厂所有的车辆生产过程。可以通过 FIS 系统提供的 PR 号信息获得车辆的配置以及对应的零件装配关系，用于指导生产。通过 PR 号与装配工位的零件号匹配，员工通过查看 PR 号选取对应的零件进行装配。

如果自动获得车辆的 PR 号信息，并通过信息传输，使安装在料架上的带灯传感器在对应装配关系的零件号的库位亮灯提示，员工根据亮灯选取零件进行装配，就可以实现工位零件装配的灯光拣选。实现灯光提示替代员工读取 FIS PR 号思考装配关系的步骤，避免出错。PR 号选装关系见表。

2.2 解决方案

解决生产线员工错漏装的问题，除了从员工管理入手，还可以借助技术手段辅助解决。能够实现自动循环的灯光拣选技术（PTL）成为工程师们选择的解决方案。

利用在生产线旁料架上加装灯光拣选基站系统，通过灯光实现不同配置车型零件装配提示。可以实现操作者不看 FIS 单，根据亮灯信息拾取零件进行装配，减少

表 PR 号选装关系

车型	零件名称	零件号	PR 号	数量
车型一 A01	燃油管	5QD XXXX P	+0B1+1E4+9M0	1
车型一 A02	燃油管	5QD XXXX Q	+0B3+1E4+9M0	1
车型一 A02	燃油管	5WD XXXX B	+T9R+0B1+0K0+1E4	1

错漏装情况。结合车身定位系统，将车辆的进出工位信息及车辆信息实时传递给拣选系统，当车辆进入工位时，拣选系统自动更新当前车辆的装配信息，并亮灯提示，车辆离开工位后进行刷新，实现工位灯光拣选的全自动循环。

车身定位系统，主要是提供车辆的进出站信息、KNR 号信息，便于拣选基站系统根据 FIS 交互获得车辆车型信息、车辆配置信息和灯光提示显示时机信息。

拣选基站系统由工业主机（PTL 软件安装处）、X-Gate 控制器、对射式拣选灯、料架、报警灯、扫码枪（车身定位系统故障时应急采用扫码输入车辆信息）和料架等组成。整个基站系统可以跟 FIS 系统和车身定位系统信息交互。车身定位系统和拣选基站系统示意如图 4 所示。

工业主机上 PTL 系统软件程序界面显示拣选的相关信息，可以展示当前、后续和前序车辆信息，便于校对车身定位系统。实时显示零件选取的相关信息，便于操作者核对灯光提示信息是否准确，还可以查看料架上拣选灯的实时连接状态和历史拾取记录。

当操作者拣选完成后，报警灯将会转为绿色，表示正常，如果操作者超时未取件，料架的拣选灯将变成黄色警示，再变成红色警告，同时报警灯变成红色且蜂鸣报警提示给操作者。

2.3 案例成果

通过搭建车身定位系统和拣选基站系统，全自动的灯光拣选逐渐在总装车间生产线上铺展开来。以尾标粘

贴工艺为例，整个工位最多时生产 5 种车型，多达 18 种零件，选装关系非常复杂。安装灯光拣选后，实现该工位 0 错漏装的改善，大幅度提升车间 ZP7、ZP8 的合格率。

灯光拣选的自主搭建经验也同步并推广到其他基地，全面体现了数字化变革下的信息化、智慧化和智能化。

3 备胎自动搭载

汽车装配过程中往往需要用到很多助力机械手，辅助完成车辆轮胎、仪表、前端和备胎等部件的装配。在采用流水线生产的总装车间，这类机械手往往是半自动的，如备胎机械手，需要人员操作机械手才能完成装配。对于企业来说，人力成本越来越高，在工业 4.0 和智能制造的潮流冲击中，机器人替人逐渐成为一种趋势。通过自动化的提升，可以优化人员，提升生产率，实现成本的降低。因此对生产线半自动设备的改造升级实现全自动化，减员增效降本，也成为工程师们研究的课题。备胎自动搭载就是其中之一。

3.1 技术原理

基于视觉检测技术的干涉分析及定位技术。汽车流水线作业，在不停线的前提下，采用机器人协作完成工艺装配，如备胎安装，就要保证机器人时刻不能跟车辆干涉碰撞，避免损坏车身和安装的零件。如何知道车辆的实时位置和计算出机器人多轴的干涉圆柱体范围，是技术的难点。

通过实时检测大板位置，准确定位车辆的实时位置，然后采用视觉检测技术，对车辆和备胎进行拍照，通过图像识别，识别出位置坐标，作为基准点，实时计算出机器人移动无干涉轨迹，以便完成备胎搭载工艺。

3.2 解决方案

总装车间备胎安装工位的左侧，前期规划需要 1 名作业者操做半自动的备胎机械手拾取备胎，放置到车身

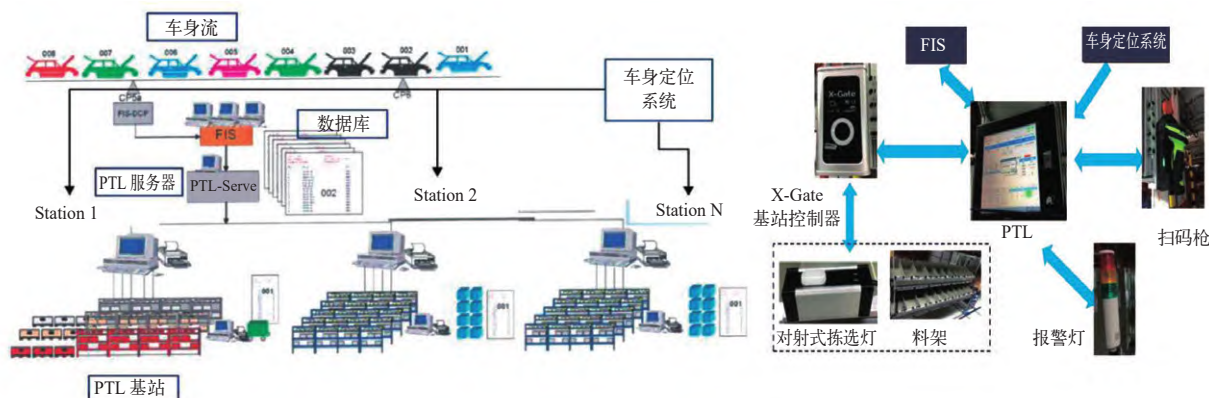


图 4 车身定位系统 + 拣选基站系统

行李舱内安装位置。在人效提升和自动化率改善的潮流中，经过研讨设想采用机器人，在不停线的前提下，自动完成备胎的“抓取、放置和返回”的动作，以替代人员操作，实现人员优化和成本节约。

要实现不停线安装备胎，机器人需要实时获得进入备胎搭载工位的车辆车型和车辆位置信息，流程如下：

(1) 利用扫码头扫描车辆左前翼子板上的条码实现车型识别，并通过增加编码器识别大板的位置，从而定位车辆的位置。

(2) 机器人末端轴上安装 3D 摄像头，通过视觉检测定位备胎在轮胎输送线上的位置，然后抓取备胎并移动到指定的位置，利用摄像头拍摄汽车后盖打开的状态，同时根据机器人自身的位姿和车辆的位置信息计算出无干涉圆柱体，判断是否满足将备胎放入汽车行李舱的条件。若干涉，则报警，取消搭载，若无干涉，则利用计算出来的相对位姿，自适应调整机器人轨迹。

(3) 机器人末端轴伸入行李舱时检测备胎仓的位置，并实时计算出放置的轨迹且将备胎放入搭载，搭载完成后机器人核算与车身的相对位置，自动回到初始位置，等待下一辆车的搭载。

(4) 即使搭载过程中大线车辆停止，机器人依然可以完成搭载和返回作业。

机器人末端轴臂上安装防碰撞传感器，进行防碰撞监控。当出现碰撞时，能够触发实现机器人停止和流水线大板停止，避免车身损坏。整个流程中，机器人能根据大板的停止、运动，调整自身的同步停止、运动，且能根据大板（长 6.1 m × 宽 3.6 m）的运行速度（53 s 到 59 s 运行 6.1 m）来调整自身运行速度和随行位置。且当异常停止时，与大线互锁大线同步停止。真正意义上实现不增加机器人随行轴的前提下，做到不停线随行自动搭载备胎。整个备胎搭载区域也增加电子围栏，对装配过程全程监控，防止碰撞异常发生。

3.3 案例成果

备胎自动搭载项目的成功落地，是该领域内不增加机器人第七轴的前提下，在汽车行业的首次创新应用。该项目占地面积小，采用电子围栏，对装配过程全程监控，方案能够柔性应对生产和应对产线各车型搭载需求，极具推广价值。自动化的作业，可以提高车间自动化率，并实现双班次 2 人优化，每年可以节约成本 30 万元。

4 结语

本文通过从车辆检测返修流程（检测）、工艺装配指导（装配）和设备自动化（设备）三个案例，分别介绍返修车辆定位和抢单系统、灯光拣选、备胎自动搭载的技术原理、解决方案和成果，阐述了汽车总装在智能制造方面的探索和应用。利用 RTLS、DBN、条码识别及视觉检测等多种技术，构建针对总装车间生产过程中对于人效提升需求的多个解决方案，实现车间内“人机料法环”多个方面的信息高效融合，改善装配效率和质量，优化返修流程，提升管理体系水平，将成为汽车生产往数字化、智能化方面转型发展的必然趋势，对于整个汽车行业具有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] HARALD R. 如何有效选择 RFID 和 RTLS[J]. 现代制造, 2021(11): 54-55.
- [2] 戚运承. RTLS 定位技术在整车生产过程中的选择与应用[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2022(5): 220-224.
- [3] 刘君阳, 朱世松. 基于 DBN 的飞行保障力量配置辅助决策方法[J]. 系统仿真学报, 2023, 35(5): 1008-1019.
- [4] 吴维, 吴泽莹, 王兴隆, 等. 融合强化学习的 DBN 跑道侵入风险预测[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(7): 20-27.
- [5] 姜传, 魏圆圆, 王紫雯, 等. 公交驾驶员自主抢单系统及最优分配方法研究[J]. 人民公交, 2023(3): 65-68.
- [6] 刘国松, 李强, 郑可心, 等. 基于汽车物流的电子标签辅助拣选系统的研究[J]. 华章, 2013, (18): 320-320.
- [7] 张宁, 肖镇东, 刘国松. 汽车物流灯光拣选系统通信技术研究[J]. 物流技术, 2014, 33(4): 335-337, 359.
- [8] 韩连福, 褚, 等. 应用激光跟踪仪和单目视觉检测三维水模体定位精度方法研究[J]. 中国测试, 2024, 50(2): 14-21.
- [9] 王欢, 李创. 基于独特性评价的特征点检测与视觉定位[J]. 计算机技术与发展, 2024, 34(7): 131-137.
- [10] 钟兴军, 吴俊琦. 一种基于目标检测的动态环境下视觉定位系统[J]. 现代电子技术, 2024, 47(2): 160-164.