

数字化方法在汽车总装工艺设计中的应用

任承峰

奇瑞汽车股份有限公司 安徽芜湖 241006

摘要：主要描述通过总装工艺设计，智能调取BOM/工艺资源、自动比对检查等功能，实现工艺设计的自动化、智能化，从而提升工艺开发质量和效率。

关键词：工艺设计与管理系统；总装工艺设计；标准工艺资源；智能制造

汽车制造属于典型的离散型制造行业。单车装配上万个零件，主要涉及冲压、焊装、涂装以及总装四大工艺，如今客户需求配置的多样化使得整车配置和装配作业更加复杂。汽车制造企业大部分已实施用于产品设计的PDM平台以及全配置BOM管理平台，逐步提高产品设计的标准化、平台化及通用化，设计质量和效率明显提高。而在其后的工艺设计方面，普遍存在标准化程度不够、数字化能力偏弱和信息化孤岛等问题，需要大量的人力投入工艺设计，工艺设计质量风险很大。奇瑞汽车近些年基于CAPP平台在工艺管理与设计方面进行了研究和开发，已经大大提升了工艺开发质量和效率。但是，仍存在一些人工重复进行的工作，影响工艺设计的质量和效率。

如图1所示，在汽车制造四大工艺中，总装生产线最长，所装配零件种类繁多，约占整车生产的70%~

80%。客户个性化定制的配置需求绝大部分在总装车间实现。根据国内外统计数据，整车的质量问题有40%是装配问题^[1]，由此可见确保产品装配质量是至关重要的。本项目在总装工艺设计方面进行了二次开发，以数字化手段提升设计质量和效率，减少装配问题的发生。

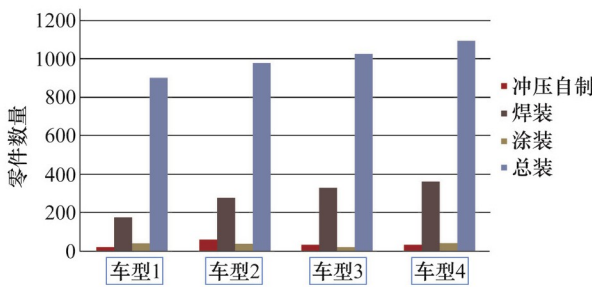


图1 单车四大工艺装配零件数量

实施路径

1.总装工艺标准化

近些年，总装工艺标准化逐步建立，结合后续新车型项目的不断迭代，形成了较为完整的总装工艺知识资源库（见图2），包括过程流程图、PFMEA、控制计划库，以及设备、工装、工具生辅材料属性库等。并通过工艺设计与管理系统（CAPP）进行结构化管理，在工艺设计完成至工艺文件的输出过程中，效率大大提升，文件一致性也得到保障。

序号	作业名称	变差来源	产品特性	过程特性
1031	天窗装配	工具力矩标定	01：螺栓紧固...	螺栓紧固顺...
1032	天窗装配	作业方法	02：电机线束...	对正插接，...
1033	谐振箱装配	工具力矩标定	01：插接到位	与进气管插...
1034	谐振箱装配	工具力矩标定	02：固定螺栓...	紧固力矩标...
1035	谐振箱装配	工具力矩标定	02：固定螺栓...	紧固至连接...
1036	谐振箱装配	工具力矩标定	02：固定螺栓...	按顺序紧固
1037	离合器主缸进油软管装配	零件防护	01：管路内部...	只摘取需要...

图2 总装工艺资源库截屏示例

本课题在前期标准化的基础上，进一步优化。课题实施的其中一项重要基础，是总装“作业名称”的标准化，公司所有车型、生产线员工在进行同样的生产作业时，文件中必须使用唯一的描述，如“天窗装配”不可描述为“装配天窗”。标准化的作业名称描述在CAPP系统资源库中进行管理，并支持查询和快速调取。

2. BOM零件属性标准

公司经过约3年的时间，成功实施了企业级BOM系统项目，打通了整车及发动机各个领域的BOM产生和应用环节，从设计、试制以及生产到售后实现了超级BOM、全流程规范化、BOM标准化，成果显著。其

中，新BOM体系中的两个零件属性定义标准是本题实施成功的另一项基础。

（1）通用零件分组（GPC） 通过这个编码，可以快速识别零件属于哪个分组系统，如：底盘、内饰及外饰等一层下的第三层系统。

（2）功能名称（FND） 零件在整车上应用的功能和功能性描述，如：螺栓-左悬置软垫总成到车身。

这两个属性标准是配置BOM的核心。配置BOM，在国外品牌应用较为成熟，国内部分自主品牌也在不断进行工艺研究，奇瑞已经成熟应用。

不同车型、不同配置的零件有不同的零件号，这两个属性实现了所有车型同位置、同功能的零件（见图3）标准化统一描述，见表1。

这两个属性对于整车BOM中总装标准件的识别作用尤其显著，大大降低了工程师在设计过程中编制和解读BOM的难度。



a) 卡其白前保险杠总成



b) 莱茵蓝前保险杠总成

图3 奇瑞全新一代瑞虎8前保险杠

表1 BOM标准属性示例

零件号	零件名称	通用零件分组代码	功能名称代码	功能名称描述	单车数量	...
60...0024AABBS	卡其白前保险杠总成	621	A04Q	前保险杠总成	1	...
60...0048AABVQ	莱茵蓝前保险杠总成				1	...

3. 对应关系库的建立

对于大部分的总装装配零件，同一个装配作业描

述，对应的零件“通用零件分组”/“功能名称”相同。例如：作业“方向盘装配”对应装配的零件GPC/

FND为“441/A00G方向盘”/“441/A00J螺母-方向盘到转向管柱”。

将这种对应关系进行全面梳理,如图4所示,形成工序设计标准,并植入CAPP系统的资源库中。

资源记录						
序号	作业名称	变差来源	产品特性	过程特性	备注	装配零件
3495	随车工具装配	作业方法	01: 放置位置...	平稳放入后...		235/A00K
3496	三角警示牌装配	作业方法	01: 放置位置...	放入行李箱...		435/A00G
3497	油箱视窗盖装配	作业方法	01: 卡接牢靠	对正按压至...		434/A00E;434/...

图4 梳理出来的关系库截屏示例

4. 自动工艺设计功能的开发及使用

总装工艺设计的输出,是《工序目录》和APQP文件,把上述标准应用到《工序目录》的编制过程中,通过系统工具的开发实现自动化准确快速的编制是我们本课题的最终目的。

标准作业资源库在CAPP系统中,而新产品车型的BOM在BOM系统中。那么,系统间的集成交互是必不可少的环节。本课题通过二次开发,将整车全配置、单一配置BOM从BOM系统中触发发送,在CAPP系统中触发接收,实现了BOM的快速准确传递。CAPP系统利用自身已有工厂结构资源库,根据工艺路线生成3PR工艺结构树,通过标准的操作完成总装工艺设计工

作,设计过程如图5所示。

在“《工序目录》编制”环节，从3PR工艺结构树导出excel《工序目录》（见图6），通过excel与CAPP资源库的集成链接开发，以及一些功能控件按钮的开发应用，实现自动BOM导入、工艺设计及准确性质量检查等功能，功能控件按钮包括以下六点。

(1) 调取BOM 从CAPP系统中调取全配置BOM至表中, 供零件分配使用。

(2) 提取零件 首先从资源库中按照作业顺序, 选取标准“作业名称”, 选中所有作业名称并点击此按钮, 系统将自动提取对应的零部件(编号、名称、GPC/FND等)到作业名称行列。

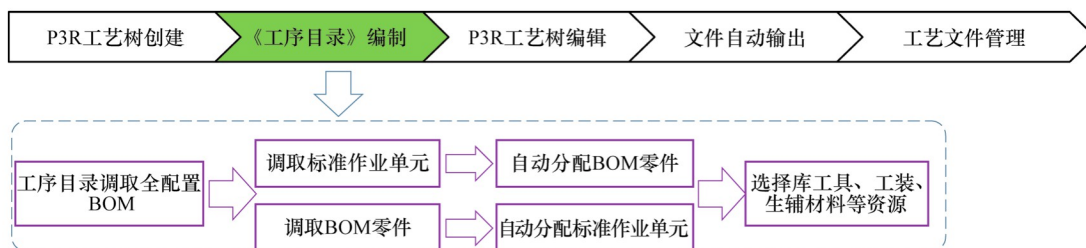


图5 总装工艺设计过程示意

车间编号:		初版装配工序目录								出自:		总装专业																																																																																																																							
车间名称:										时 间:																																																																																																																									
工位	装配顺序	标准作业单元	调用BOM		单个提取零件	批量提取零件	单个提取操作单元	批量提取操作单元	检查零件正确性	检查操作正确性	规划人数	工时	主工具																																																																																																																						
			零件号	零件名称	GPC	FND代码	FND	单件数量	力矩	名称				规格	数量																																																																																																																				
2010	01	ECU支架装配	CS115-3605015	ECU支架	131	A00Y	支架-ECU控制单	1																																																																																																																											
		ECU支架装配	CSFQ140E	<div>UserForm1</div> <div><div>ECU</div><div><div>筛选</div><div>全部</div></div><table><thead><tr><th>作业名称</th><th>变量来源</th><th>产品特性</th><th>过程特性</th><th>备注</th><th>装配零件</th></tr></thead><tbody><tr><td>ECU支架装配</td><td>工具力</td><td>02: E</td><td>紧固力</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ECU支架装配</td><td>工具力</td><td>02: E</td><td>紧固力</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ECU支架装配</td><td>工具力</td><td>03: 常</td><td>紧固力</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ECU支架装配</td><td>作业力</td><td>☆01: E</td><td>EC扭矩</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ECU支架装配</td><td>工具力</td><td>01: E</td><td>紧固力</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ECU模块装配</td><td>作业力</td><td>04: 线</td><td>你搭线</td><td></td><td>131/A00Y, 131/A03B</td></tr><tr><td>ECU模块装配</td><td>作业力</td><td>☆03: 常</td><td>对正插</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ECU模块装配</td><td>作业力</td><td>02: E</td><td>紧固力</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ECU模块装配</td><td>工具力</td><td>02: E</td><td>紧固力</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ECU模块装配</td><td>作业力</td><td>☆01: E</td><td>EC扭矩</td><td></td><td>131/A03V, 131/A00B, 131/A01V, 1...</td></tr><tr><td>ECU模块装配</td><td>作业力</td><td>05: 常</td><td>整形码</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ECU线束连接</td><td>作业力</td><td>☆01: 常</td><td>对正插</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ECU线束扫描</td><td>作业力</td><td>01: 常</td><td>分别扫</td><td></td><td></td></tr><tr><td>ECU线束扫描</td><td>配置值</td><td>01: 常</td><td>新调整</td><td></td><td></td></tr><tr><td>清除ECU</td><td>作业力</td><td>01: 常</td><td>卡扣紧</td><td></td><td></td></tr><tr><td>装车电压: V</td><td>方法宏</td><td>☆01: 常</td><td>扫表值</td><td></td><td></td></tr><tr><td>装车电压: V</td><td>方法宏</td><td>☆01: 常</td><td>08时值</td><td></td><td></td></tr><tr><td>装车电压: V</td><td>方法宏</td><td>☆01: 常</td><td>电压值</td><td></td><td></td></tr></tbody></table><div><div>更新</div><div>清除</div><div>完成</div></div></div>										作业名称	变量来源	产品特性	过程特性	备注	装配零件	ECU支架装配	工具力	02: E	紧固力			ECU支架装配	工具力	02: E	紧固力			ECU支架装配	工具力	03: 常	紧固力			ECU支架装配	作业力	☆01: E	EC扭矩			ECU支架装配	工具力	01: E	紧固力			ECU模块装配	作业力	04: 线	你搭线		131/A00Y, 131/A03B	ECU模块装配	作业力	☆03: 常	对正插			ECU模块装配	作业力	02: E	紧固力			ECU模块装配	工具力	02: E	紧固力			ECU模块装配	作业力	☆01: E	EC扭矩		131/A03V, 131/A00B, 131/A01V, 1...	ECU模块装配	作业力	05: 常	整形码			ECU线束连接	作业力	☆01: 常	对正插			ECU线束扫描	作业力	01: 常	分别扫			ECU线束扫描	配置值	01: 常	新调整			清除ECU	作业力	01: 常	卡扣紧			装车电压: V	方法宏	☆01: 常	扫表值			装车电压: V	方法宏	☆01: 常	08时值			装车电压: V	方法宏	☆01: 常	电压值						
作业名称	变量来源	产品特性	过程特性	备注	装配零件																																																																																																																														
ECU支架装配	工具力	02: E	紧固力																																																																																																																																
ECU支架装配	工具力	02: E	紧固力																																																																																																																																
ECU支架装配	工具力	03: 常	紧固力																																																																																																																																
ECU支架装配	作业力	☆01: E	EC扭矩																																																																																																																																
ECU支架装配	工具力	01: E	紧固力																																																																																																																																
ECU模块装配	作业力	04: 线	你搭线		131/A00Y, 131/A03B																																																																																																																														
ECU模块装配	作业力	☆03: 常	对正插																																																																																																																																
ECU模块装配	作业力	02: E	紧固力																																																																																																																																
ECU模块装配	工具力	02: E	紧固力																																																																																																																																
ECU模块装配	作业力	☆01: E	EC扭矩		131/A03V, 131/A00B, 131/A01V, 1...																																																																																																																														
ECU模块装配	作业力	05: 常	整形码																																																																																																																																
ECU线束连接	作业力	☆01: 常	对正插																																																																																																																																
ECU线束扫描	作业力	01: 常	分别扫																																																																																																																																
ECU线束扫描	配置值	01: 常	新调整																																																																																																																																
清除ECU	作业力	01: 常	卡扣紧																																																																																																																																
装车电压: V	方法宏	☆01: 常	扫表值																																																																																																																																
装车电压: V	方法宏	☆01: 常	08时值																																																																																																																																
装车电压: V	方法宏	☆01: 常	电压值																																																																																																																																
		ECU模块装配	CS13100C																																																																																																																																
		ECU模块装配	CS13100C																																																																																																																																
2011																																																																																																																																			
2012																																																																																																																																			
2013																																																																																																																																			
2014																																																																																																																																			
2015																																																																																																																																			
2016																																																																																																																																			

图6 《工序目录》模板部分内容

(3) 提取操作单元 可以先将零部件全部分配至表格中，然后点击此按钮，系统将自动提取对应的作业名称到零件行列。

(4) 检查零件正确性 在编制过程中，有可能会发生设计变更。将更新后的BOM重新调取至表中，点击此按钮，可以自动比对零件的变化，帮助工程师重新调整装配零件。

(5) 检查操作正确性 在工序目录编制过程中，点击此按钮可辅助检查工程师录入作业描述的准确性，防止工程师误操作导致不符合标准的情况。

(6) 提取打点信息 将所有单一配置描述调取至表中，点击此按钮，系统可以自动识别所分配零件对应的配置行列。

除了以上功能，《工序目录》可以与系统资源库链接，辅助工程师智能调取所需的工装工具、设备、生辅材料等工艺资源，以完成全面的工艺设计，本文

不再赘述。

《工序目录》自动导入CAPP系统生成结构化的3PR (product产品、process工艺、plant工厂及resource资源) 工艺结构树，再通过自动提取资源库中的标准文件信息，经过个性化内容的更新，形成了完整的工艺设计。各种工艺文件、统计汇总表通过系统自动按照已嵌入的标准模板生成。

收益成果

随着智能汽车的推陈出新，汽车零部件及功能日趋多样和复杂，随之制造技术也需不断进步，工艺设计标准化、智能化技术必不可少，单纯靠人工经验和手工设计已经很难适应产品的进步。本课题就是通过将人工积累的经验、标准化，进行二次开发实现知识积累、自动调取及智能分配等功能。在实际应用中也体现出了显著的收益。主要体现如图7所示。

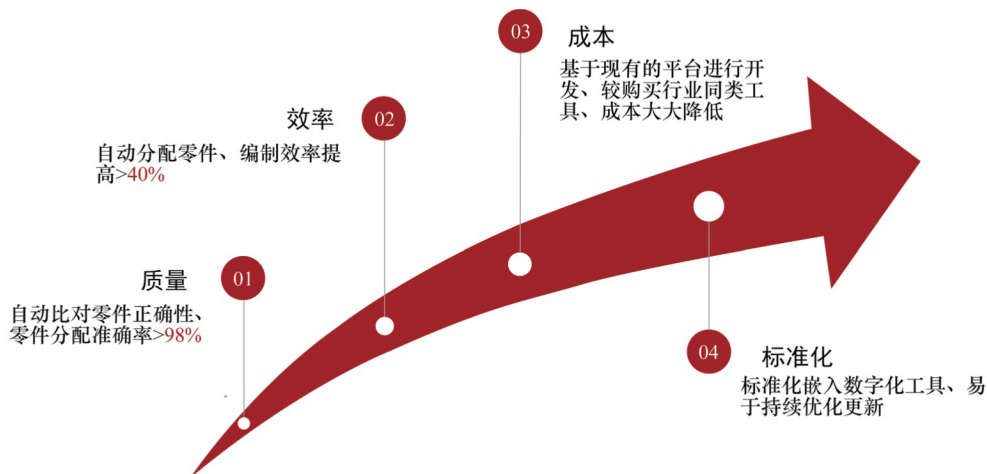


图7 实际应用中收益显著

(1) 质量方面 《工序目录》的生成，自动继承了上游BOM信息，工艺信息来源于CAPP系统的标准资源库。因此，初版编制的准确率从原手工的低于80%提高至98%，为整体工艺设计的质量，打下坚实基础。

(2) 效率方面 通过数字化开发手段，把人工分配变成了自动调取资源、自动分配零件，单车工艺设计效率提升了40%以上，随着标准的不断补充、完善，效率还有很大提升空间。

(3) 成本方面 工艺设计减少了大量的人工成本；把人工从低效的劳动转移到更加增值的标准完善及新工艺开发中。此项目基于现有成熟平台进行开

发，较之采购同类产品节省上百万的费用。

(4) 标准化 本课题推动了总装工艺的标准化完善，并嵌入到系统平台实现数字化，工艺人员可快速查阅、学习，加快人员培养速度；自动调用及文件自动生成的功能，也实现了部分工作的去技能化。

智能数字化工艺展望

我国正处于制造业升级的重要时间窗口，产业发展面临绝佳机遇。智能制造热潮持续升温，人工智能、工业互联网、大数据、云计算及5G等技术的发展，为制造业数字化转型升级提供了重大机遇^[2]。

近年来中国智能制造推进体系初步形成，关键领域实现突破，成效明显，开放合作不断拓展。智能制造场景技术多元化，智能制造的形式和手段多种多样，行业之间和企业之间的差别很大，即使同一行业中相似的企业，也有可能从不同的环节开始，使用不同的技术手段。

结语

本课题只是汽车数字化制造中很小一部分，相关

技术的扩展还有很大的空间，在汽车冲压、焊装、涂装、总装及发动机工艺设计领域，需要更加努力创新，提升汽车设计制造能力和质量。

参考文献：

[1] 刘强, 孙志金. 浅谈汽车总装工艺规划设计[J]. 内燃机与配件, 2017 (21) : 2.
[2] 钱梦菲. TCL集团业务转型与财务战略适配研究[D]. 北京交通大学, 2019. **AUTO1950**

(上接第50页)

(3) 功能验证 车身到达此工位后，PLC系统从生产系统读取车身信息即配置信息后，与图像识别系统的结果进行比对。如果发动机盖比对结果正确（机盖类型正确），则放行车辆至下一个工位，如果机盖比对信息不一致，则车辆停止在该工作位，同时报警提

示工人确认。图像识别系统采用的是与标准件比对、关注特征点的方式，判别出机盖类型后，如果是运动版机盖，则IO1输出；如果是优雅版机盖，则IO2输出。两个IO信号发送至PLC系统，并与车辆信息进行比对，形成监控依据。对比结果示意如图15所示。

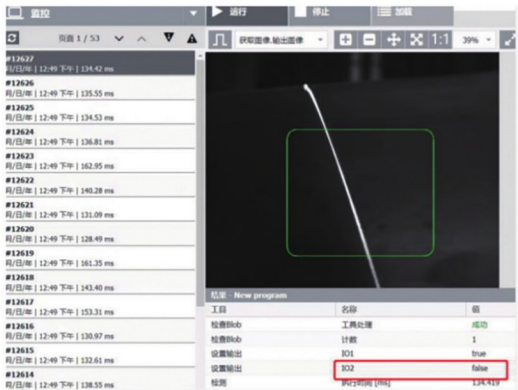


图15 普通版机盖识别后IO2信号输出

结语

基于实际生产线低辨识度多产品柔性的应用场景需求的深入技术分析，实现了基于外观件轮廓激光信号处理的车身工厂装配完成线防错技术方案的开发和实施。该系统的成功搭建，可有效监控白车身外覆盖件变种和车型配置的一致性，避免零件的错装、漏装问题的发生，提升整车制造水平和质量的控制水平。随着近年来工业4.0和智能制造2025战略的发展，图像

识别技术在工业应用领域越来越广泛。本项目的图像识别方案，有望在整车车身、总装制造领域、相似零件装配及加工后的质量监控等应用场景中发挥更多、更广泛的作用，实现其智能化质量控制解决方案。

参考文献：

[1] 刘志. 浅析焊装生产线防错系统[J]. 汽车制造业, 2021 (6) : 17-19. **AUTO1950**