

基于架构和系统工程方法的航空智能生产线规划研究

航空工业信息技术中心（金航数码） 刘屹

航空工业作为工业体系的重要组成部分，项目研发周期长、资金占用高等因素始终制约着航空业态的健康稳定发展。智能化正在深度影响航空工业的未来。在航空工业领域推进智能制造，将有效缩短航空装备产品的研制周期，降低运营成本和资源能源的消耗，推进生产的适应性和灵活性，对提高航空装备研制水平，加快开发高水准的航空器产品，推动航空工业转型升级、创新发展都具有重要意义。然而，航空装备生产系统的复杂性也导致了智能生产线建设难度较大，因此，有必要采用架构和系统工程方法进行智能生产线的规划研究。

一、航空智能生产线需求分析

航空智能生产线需求分析的目标是通过形式化的需求模板，对智能生产线建设需求进行逐层分解和细化，借助需求项清单和需求定义模板帮助生产线的建设单位准确定义需求。

保证交付周期和质量是航空智能生产线的根本目标，保证交付周期要求生产线能够实现精准排产和运行控制，保证质量要求生产线能够实现工艺全要素执行控制，同时，要求生产线在交付计划控制和质量控制的过程中发现任何问题时都能够实现敏捷处理，由此得到三项航空智能生产线的一级需求。由于一级需求无法进行准确验证，需要对每一项需求内容进行分解形成二级需求。以 R2 工艺全要素执行控制为例，需要进一步分析在生产过程中需要对哪些要素进行执行控制。设备和资源、生产对象、人员和工艺过程是影响到

工艺执行控制的主要要素，对 R2 进行分解得到四项二级需求，发现同时对 R1、R3 也进行进一步分解，得到如表 1 所示的航空智能生产线二级需求。

表 1 航空智能生产线二级需求

需求代码	需求名称
R1	精准排产和运行控制
R1.1	生产计划符合工艺规范
R1.2	生产计划编制精细化
R1.3	生产计划与执行零误差
R1.4	生产计划可快速调整
R2	工艺全要素执行控制
R2.1	设备和资源受控
R2.2	生产对象受控
R2.3	人员受控
R2.4	工艺过程受控
R3	问题敏捷处理
R3.1	及时预测或发现问题
R3.2	问题处理闭环控制
R3.3	改进优化类问题的发现和处理建议

在二级需求基础上，可以对需求再次进行细化。以 R2.1 设备和资源受控为例，设备和资源的受控可以理解为 R2.1.1 不用错设备和资源、R2.1.2 设备和资源状态健康、R2.1.3 设备运行的每个指令发出前都需要进行检查和确认三项三级需求。

基于系统工程中技术流程的需求分析要求通过结构化模板准确定义出每一条可被验证和确认的需求项。在规划航

空智能生产线时，可根据上述需求分解并借助需求定义模板确定需求清单。以某飞机部件装配生产线为例，R2.1.1 的需求定义模板如表 2 所示，左侧列出了生产过程的全部设备与资源，右侧是生产工艺过程，使用该模板可以准确定义在任何一个工艺过程中需要对哪一项设备与资源进行控制从而保证生产过程使用正确的设备和资源。

表 2 需求定义模板示例

需求项		R2 工艺全要素执行控制 R2.1 设备和资源受控 R2.1.1 不用错设备和资源					
设备与资源清单			部件装配工艺过程				
			生产准备	工装评判	工装定位	人工制孔	
设备	生产设备	自动进给钻 ADU					
							
	搬运设备	机器人					
		行车					
		AGV					
							
	测量设备	激光跟踪仪					
		三坐标测量仪					
							
工装工具	工装	钻模板					
							
	刀具	钻刀					
							
	工具	电动扳手					

二、航空智能生产线功能规划

航空智能生产线功能规划的目标是通过对参考性的功能组件库进行配置，形成智能生产线的系统功能框架，并进行需求与功能的满足性分析，帮助生产线的建设单位准确描述生产系统功能。

进行功能规划的思路是从每一项需求项出发，对需求得到满足的具体功能进行描述。基于航空工业信息化建设实践，本文首先总结出面向航空智能制造的生产线功能组件库，功能组件库由四项一级组件组成，分别为 F1. 采集、通讯

与控制器、F2. 可视化作业指导、F3. 精准排产与执行控制、F4. 实时生产数据的分析、控制和优化。每一项一级组件可进一步分解为二级组件，如表 3 所示。

表 3 航空智能生产线组件库（以采集、通讯与控制器为例）

功能组件代码	功能组件名称	功能组件简要描述
F1	采集、通讯与控制器	
F1.1	通电控制组件	用于注册需要通电控制的设备，实现集中式通电控制
F1.2	自动化指令下达控制组件	用于注册需要控制自动化指令的设备，建立自动化指令下达前的统一检查机制（针对自动化、数字化工装、工具等）
F1.3	自动化指令执行记录组件	记录自动化指令的执行时间，在大数据分析时可以与设备运行参数数据进行关联性分析
F1.4	设备运行状态采集组件	注册设备的采集信息项，并建立与设备的采集接口（重点采集设备故障信息、与设备健康相关的信息）
F1.5	实物识别组件	通过智能物流系统和周转装置识别物料的身份和位置，通过自动刀具库的传感器识别刀具的身份和位置
F1.6	测量/检测系统通讯组件	建立与各类测量/检测系统的接口，能够送去模型（三维 CAD 格式等），采集回符合统一格式要求的测量/检测数据

在进行航空智能生产线功能规划时，可首先从需求出发，在功能组件库中寻找满足需求的二级组件，并进一步采用功能组件定义模板对功能组件进行更为准确的描述。以 F1.1 通电控制组件为例，其功能组件定义模板如表 4 所示。

表 4 通电控制组件定义模板

组件代码 / 名称	F1.1 / 通电控制组件
控制响应速度	接收指令 _ms 内完成控制执行
并发处理	硬件设计通过缓存进行并发处理
容错性	能够对控制组件状态进行自监测和自诊断
控制对象	导入 R2.1.1 需求定义模板并进行配置

三、航空智能生产线逻辑设计

航空智能生产线功能规划的目标是借助场景化的逻辑设计模板，基于智能化生产场景构建各功能组件之间的业务逻辑，有效指导航空智能生产线建设过程中智能化软、硬件系统的开发和部署。

CPS 的本质是构建一套赛博空间和物理空间之间基于数据自动流动的“动态感知、实时分析、自主决策、精准执行”

的闭环赋能体系，针对生产过程的每一项关键工序可采用如图 1 所示的场景化逻辑设计模板进行航空智能生产线逻辑的分析与设计。在闭环流程的每一环节采用 AS-IS、TO-BE 架构方法梳理现有业务存在的问题和未来改进目标，并基于 TO-BE 目标设计工序作业过程中功能组件间的输入、输出和执行判断条件。图 2 给出了某飞机部件装配过程中自动制孔作业过程的业务逻辑分析与设计示例。



图 1 航空智能生产线场景化逻辑设计模板



图 2 自动制孔过程场景化逻辑设计

四、航空智能生产线建设的建议

基于上述通过架构和系统工程方法对航空智能生产线规划方法的研究，本文提出以下几点航空智能生产线建设的建议。

- (1) 航空智能生产线应在建线前开展生产线规划咨询。智能生产线是航空工业推进智能制造的核心所在，也是工业化和信息化融合的关键所在，鉴于航空装备生产系统的复杂性，有必要在建线前开展生产线规划的咨询。
- (2) 按照架构和系统工程方法进行航空智能生产线规划。需求牵引、问题导向是实施智能制造的重要前提，采

用架构方法和“需求－功能－逻辑－物理”的系统工程技术流程科学开展生产线规划非常重要。

(3) 信息化团队与工艺装备设计团队在生产线规划之初联合开展工作。

智能生产线的规划，需要从由传统生产线建设以工艺装备设计为主向智能生产线建设以两化融合方向转变，信息化团队的早期融入非常关键。

五、结语

本文基于国内航空工业现状和基础，研究航空工业基于架构和系统工程方法的智能生产线规划方法，设计了需求清单和需求定义模板、功能组件库和功能定义模板、场景化逻辑设计模板等生产线规划工具，为航空工业研制单位提供可参考的智能生产线规划思路，帮助和促进航空行业智能制造的推进实施。