宇航电子产品工艺设计自动化方案浅析

张昧藏　赵亚娜　杨瑞栋　田小梅　杨　志　王 薇　杜太存
（北京空间机电研究所，北京 100076）

摘要：依据“数字化、自动化”等理念和规划，针对宇航电子产品电子装联行业工艺设计存在的问题，并结合其全生命周期研制的特点与要求，从标准规范体系、协同设计、并行工程、DFM 技术与软件集成等方面对自动工艺性审查进行分析，在知识驱动下探索一种基于工艺知识库的快速工艺编制方法，初步制定了宇航电子产品工艺设计自动化的规划方案。

关键词：工艺设计；DFM；知识库；并行设计；自动化

Brief Analysis of Intellectualized Scheme for Technological Design of Aerospace Electronic Products

Zhang Meicang　Zhao Yana　Yang Ruidong　Tian Xiaomei　Yang Zhi　Wang Wei　Du Taicun
(Beijing Institute of Space Mechanics and Electricity, Beijing 100076)

Abstract：According to “digitization and automation” ideas and planning, aiming at the problems existing in the technological design of the electronic assembly industry of aerospace electronic products, and combining the characteristics and requirements of the whole life cycle manufacture, this paper analyses the intelligent technological review from the aspects of standard specification system, intelligent design, concurrent engineering, DFM technology and software intergration. A knowledge-driven method for rapid proess planning based on proess knowledge base is expored, and anintellectualized scheme for technological design of aerospace electronic products is preliminarily made.

Key words：technological design；DFM；knowledge base；concurrent design；automation

1　引言

梳理近几年宇航电子产品质量问题，发现电子装联问题引起的失效占比高达 60%。而大部分是由于产品设计工艺性差所带来的操作失误、缺乏可检验性、测试性不合理等方面的问题造成的。然而，一方面设计师对一些设计工艺性的、涉及影响产品生产的规范未完全掌握；另一方面传统的工艺性审查串行流程手段较落后，多数是依赖工艺设计师的个人经验、行业标准与产品实际研制情况，但未形成体系，没有标准化的知识库与规范的实施流程。同时宇航电子产品研制节点紧，常常导致工艺性审查工作十分紧迫。随着制造端的生产设备越来越先进，制造过程管理和追溯系统也越来越完善，但缺少面向工艺性审查与工艺编制的专业工具仍然制约着工艺性审查工作的准确度与效率，如图 1 所示。

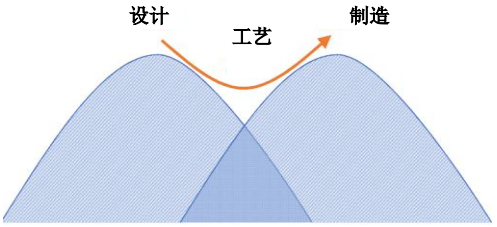

图 1　现今工艺情况示意图

结合宇航电子产品多品种、小批量的生产特点与其研发制造模式提出新的要求。除了宇航电子产品制造过程的智能化外，前端的产品工艺设计自动化无疑是实现电子产品智能制造的重要组成部分。自动化工

作者简介：张昧藏（1989），工程师，电子与通信工程专业；研究方向：宇航电子产品装联工艺设计与高可靠性研究工作。
收稿日期：2020-04-11

艺设计可有效解决传统工艺设计过程迭代周期长、流程复杂、效率低以及资源分配不合理等问题。目前，国内已有诸多单位开展了基于特征、知识和人工智能的工艺设计升级研究与应用，天津某单位结合多年经验打造了数字化工艺设计平台，在协同关联下，实现了自动化创建工艺规程[1]；同时航天科工集团某所与航天科技集团某所均研究了以产品 BOM 及属性作为输入，基于成熟标准体系与知识库的快速工艺生成技术，取得了良好的效果。工艺设计师能利用专业的软件从设计之初就加强对电子产品设计工艺性的审查，在知识库的驱动下持续强化工艺文件细化、量化要求，提高工艺文件的指导性与可操作性，保证产品质量，避免低级问题发生的目标，提高生产效率，缩短产品研制周期。因此，制定一套完善的宇航电子产品工艺设计自动化方案十分有意义。

2 宇航电子产品工艺设计自动化方案

2.1 宇航电子产品工艺设计标准体系

宇航电子产品的设计与制造，需借鉴国外先进标准，以国家标准为指引，充分结合实际产品的特点，建立起适应型号产品研制的与基础研制环境相一致的设计规范及标准体系，国内电子装联与印制板标准具体如图 2 所示。

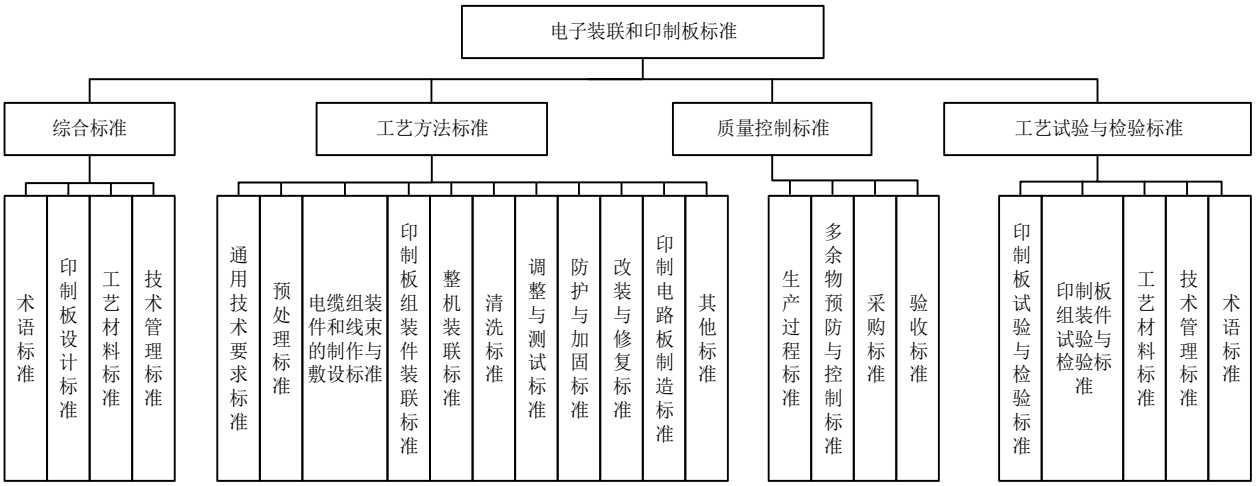

图 2 电子装联与印制板标准

目前“电子装联和印制板标准”专业领域包含了国家、军用航天行业、集团公司标院级和厂所标准。共计 674 项，其中已有标准 562 项（ GB 8 项、 GJB 30 项、 QJ 62 项、QJA 3 项、院厂所 456 项），拟制定标准 112 项（ GJB 7 项、 QJ 51 项、QJA 3 项、院厂所 51 项）。

方案分别对 PCB 板厂制造能力、焊接工艺方法要求、标准规范要求进行了深入研究，逐项分类进行整理，形成 PCB 裸板可制造性规则库及 PCB 装配可制造性规则库，并形成所级工艺规范，为智能工艺设计建设奠定良好的基础。

2.2 并行设计与 DFM 技术

以并行设计为理论基础，对宇航电子产品及其相关过程开展并行和集成设计的系统化工作模式研究。探索边设计边审查的设计工艺协同模式，掌握并行工程的关键——DFM 分析技术，将产品的工程要求与制造能力相匹配，从而坚持产品开发过程不但要考虑产品的功能和性能要求，而且要考虑与产品整个生命周期相关的工程实践因素带来的影响，并行地进行可制造性设计，尤其是强调板级设计阶段各环节的并行[2]。通过设计阶段必要的细化，避免发生难以制造的问题，整体实现降低成本、缩短周期、提升设计质量及先进性。同时形成工艺设计师对设计方案与图纸并行参与的审查机制，以标准体系内容中的规定为依据，以数据化驱动智能化，开展了基于 Vayo 软件的 DFM 自动审查技术研究，将梳理完备的元器件信息库与标准规则库与软件深度集成，示意图如图 3 所示，提前识别产保设计要素（如安全间距等要素）的落实情况，如图 4 所示。并实现快速生成报告，打通设计与工艺的信息通道，DFM 审查在板级设计中导入，审查模式由软件平台自动分析代替了传统人工审查，解决以前存在的审查不一致性和局限性问题，提前暴露设计不足，使设计、工艺设计和生产制造之间紧密联系，从而实现从设计、工艺设计到生产制造一次成功，提高了单

板设计可制造工艺性。

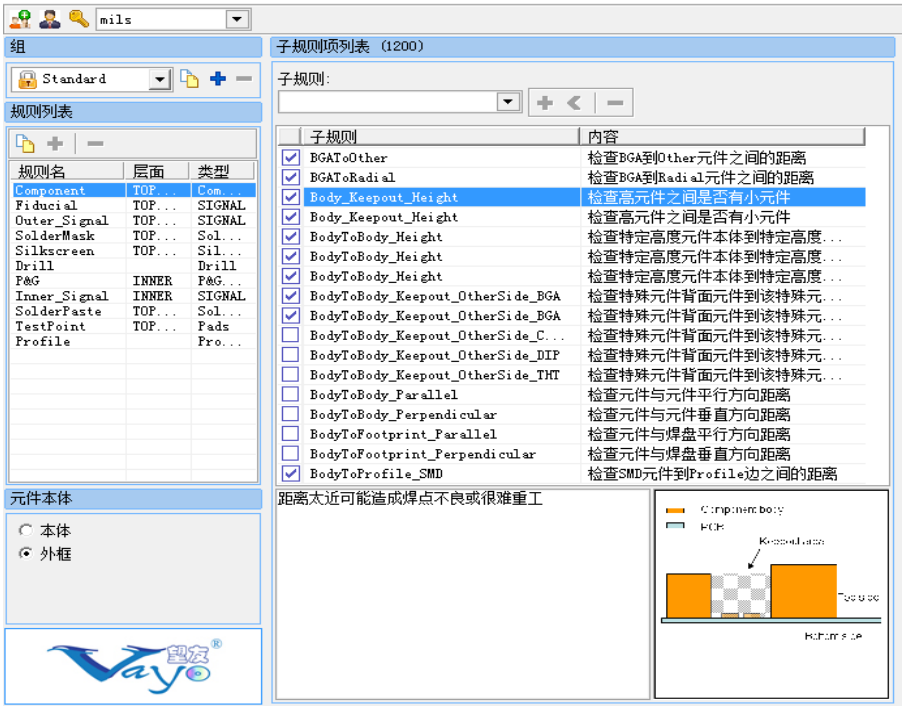

图 3　Vayo 软件的 DFM 自动审查

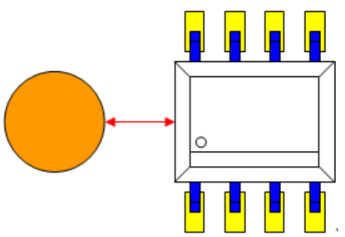

图 4　安全间距（不满足标准要求）示意图

按照对产品质量的影响程度，结合风险的严重性和可能性，在 DFM 评审规则中通过风险评估矩阵得出“风险综合评级”，如表 1 所示，筛选质量影响程度高和中的进行质量风险评价[3]。对于高度与极高度风险的提交二级审理。同时将设计数据、工艺数据与生产过程数据上传企业数字化协同管理平台，达到产品全生产周期的技术状态的管控。

表 1　风险综合评级

风险发生严重性			风险发生可能性	风险发生严重性				
☆	1	轻微		A（轻微）	B（轻度）	C（中等）	D（严重）	E（轻微）
☆☆	2	轻度	1（极少）	A1	B1	C1	D1	E1
☆☆☆	3	中等	2（很少）	A2	B2	C2	D2	E2
☆☆☆☆	4	严重	3（少）	A3	B3	C3	D3	E3
☆☆☆☆☆	5	灾难	4（可能）	A4	B4	C4	D4	E4
风险发生可能性			5（很可能）	A5	B5	C5	D5	E5
☆	1	轻微	综合程度	综合等级	综合评价涵盖			风险综合评级
☆☆	2	轻度	极低	☆	A1、A2、B1、B2、C1			低风险
☆☆☆	3	中等	低	☆☆	A4、B3、C2			
☆☆☆☆	4	严重	中等	☆☆☆	A1、A2、B1、B2、C1			中风险
☆☆☆☆☆	5	灾难	高	☆☆☆☆	C5、D4、E3			高风险
			极高	☆☆☆☆☆	D5、E4、E5			

2.3　“一键式”生成 PCBA 电子装联工艺文件

以印制板组装件为研究对象，开展“一键式”生成 PCBA 电子装联工艺文件设计研究。以信息化平台为基础，在知识驱动下实现工艺文件快速生成，降低人为因素造成的工艺质量差异，提高工艺文件的设计效率与准确性，有效提升工艺设计水平[4]。“一键式”生成工艺方案框架如图 5 所示。

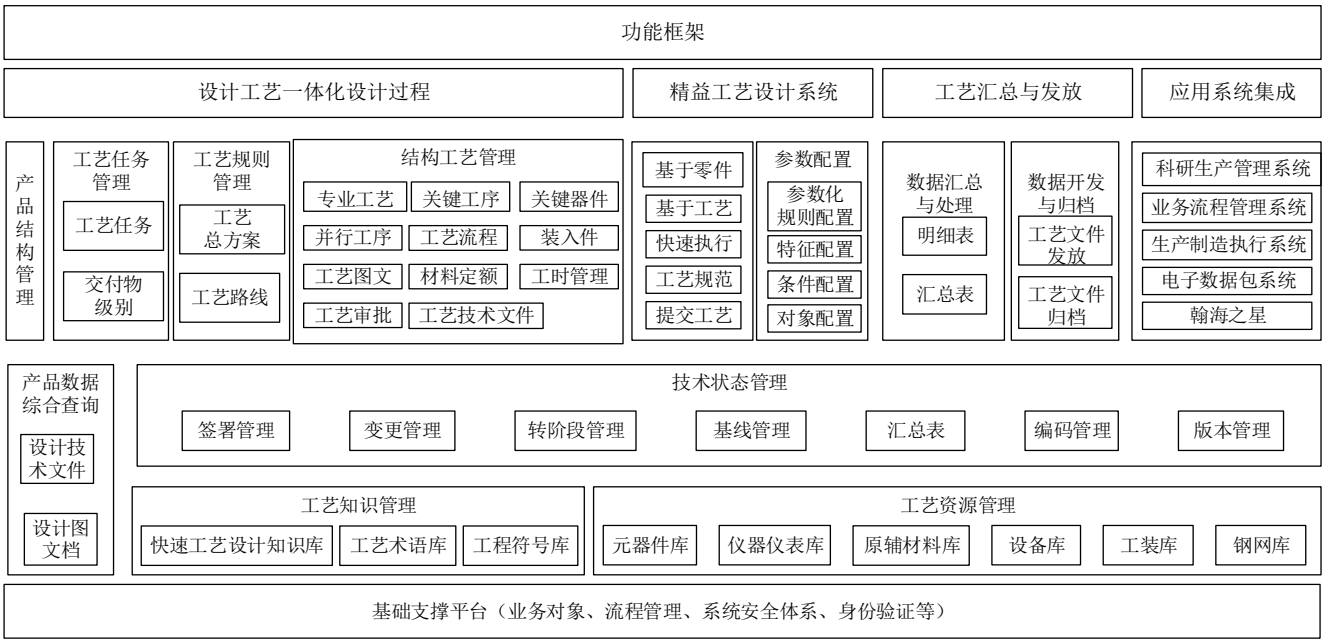

图 5　“一键式”生成工艺方案框架

强化工艺知识库建设与管理。工艺知识库是实现智能化工艺的核心，如图 6 所示。根据单位实际产品研制情况与标准规范要求，分析、识别知识库相关内容，建立典型特征库、工艺流程库、工艺资源库、关联规则库、元器件属性库（包括元器件镀层、湿敏等级、是否成形等信息）如表 2 所示。并制定专项工艺人员对知识库定期更新与维护，形成一套科学的管理办法。

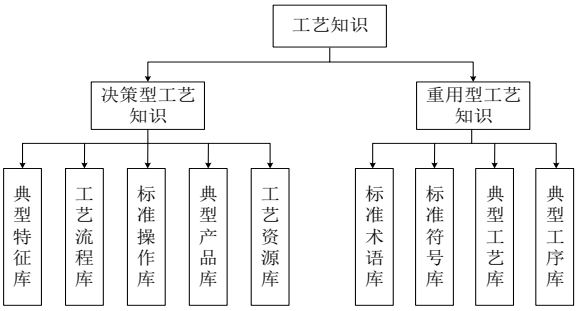

图 6　工艺知识库示意图

表 2　元器件属性库

器件型号规格	封装形式/材料	有/无铅	是否预烘	是否植球	是否表贴成形	是否插装成形	是否手工焊	是否回流焊	是否导线焊接	是否 X 光检查	是否紧固安装	是否粘固	是否热敏电阻	是否烧录软件
JFM7K325T	BGA/塑封	无铅	是	是	否	否	否	是	否	是	否	是	否	是
PTH04T240WAD	DIP/陶瓷	有铅	否	否	否	是	是	否	否	否	否	是	否	否
MT41K128M16JT-107	DIP/陶瓷	有铅	否	否	否	是	是	否	否	否	否	否	否	否

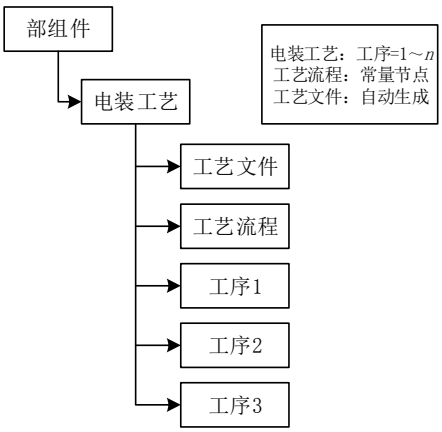

图 7　典型工艺流程图

结合并行工程的思想，将结构性工艺知识融于工艺设计的过程中，把宇航电子产品典型工艺流程图拆解为每个工序，将工序作为工艺流程的子节点。设计结构化工序卡，生成工艺文件模板库，完成结构化工艺的编制。结构化工艺模型如图 7。同时对工艺文件内各个要素（如工艺卡片等）进行规范化、标准化、一致性地整理，通过参数化配置引用标准操作库的内容，对结构化要素的内容填写完善之后，完成印制板组装件所需的工艺输出。

创新工艺文件生成模式。系统以设计图纸为输入，

（下转第 32 页）