

doi: 10.7690/bgzd.2023.06.007

模型与知识驱动的电缆加工工艺快速设计技术

邢香园, 万峰, 李金柱, 陈小弟, 陈伟男, 吴剑锋
(上海卫星装备研究所总装中心, 上海 200240)

摘要: 为解决航天电缆组件设计工艺数据协同效率低、工艺知识积累应用不足、工艺准备重复性工作量大且周期长等问题, 提出一种模型与知识驱动的航天电缆组件加工工艺快速设计技术。分析基于 MBD 的电缆结构化设计信息提取、电缆结构化工艺设计知识库构建、基于知识的电缆加工工艺智能生成等关键技术; 构建 B/S 架构的软件系统并实现型号工程应用验证。结果表明: 该系统能实现电缆工艺快速设计, 大幅提高电缆组件加工工艺设计效率, 提升文件规范性和工艺设计过程知识化、智能化水平。

关键词: 航天电缆组件; 模型; 知识; 工艺快速设计
中图分类号: TP202 **文献标志码:** A

Model and Knowledge-driven Rapid Design Technology for Cable Processing Technology

Xing Xiangyuan, Wan Feng, Li Jinzhu, Chen Xiaodi, Chen Weinan, Wu Jianfeng
(Assembly Center, Shanghai Institute of Spacecraft Equipment, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to solve the problems of low efficiency of process data collaboration, insufficient accumulation and application of process knowledge, large amount of repetitive work and long cycle of process preparation, a rapid process design technology for aerospace cable components driven by model and knowledge was proposed. The key technologies of MBD-based cable structured design information extraction, the construction of cable structured process design knowledge base, and the intelligent generation of knowledge-based cable processing technology are analyzed. The software system based on B/S architecture is constructed and the application verification of model engineering is realized. The results show that the system can realize the rapid design of cable process, greatly improve the efficiency of cable assembly processing process design, and enhance the standardization of documents and the level of knowledge and intelligence of process design process.

Keywords: aerospace cable component; model; knowledge; rapid process design

0 引言

电缆组件作为卫星等航天型号的重要组成, 是实现各分系统及载荷设备间通信协作的“神经网络”, 对型号功能性能和发射成败影响至关重要^[1]。型号高强敏度研制、单件研制与组批生产并行等模式下, 电缆组件高质、高效研制与配套需求日益迫切, 对电缆设计制造协同与工艺准备能力提出了更高要求。电缆组件加工涉及的工艺方法相对固化^[2], 通用性较强, 但由于元器件/导线型号种类繁多, 其工艺方法选用及工艺流程组合形式多样。

当前, 电缆组件加工已广泛采用结构化工艺设计模式^[3], 并通过结构化知识建模与表达^[4]、知识库的构建与应用, 逐步实现工艺设计的模板化、知识化升级^[5-6]。然而, 现有工艺设计模式缺乏对电缆 3 维数模的深化应用, 工艺人员对非结构化设计文

档信息再提取、再组织、再利用效率低。同时, 大量隐性决策规则知识缺乏深入应用, 工艺方法组合、工艺参数选用等过程仍大量依赖人工决策, 重复性工作量大且差错率高, 工艺准备效率低、周期长, 严重制约了电缆组件工艺准备效率的提升和工艺设计过程的知识化、智能化升级。

针对上述问题, 提出一种模型与知识驱动的航天电缆组件加工工艺快速设计技术, 可有效提高电缆组件加工工艺设计效率与文件规范性, 实现工艺设计模式的知识化、智能化升级。

1 航天电缆组件加工工艺快速设计方法

1.1 航天电缆组件工艺准备业务过程及需求分析

航天电缆组件工艺准备过程主要包括设计工艺协同、工艺文件编制等主要环节:

1) 设计工艺协同环节, 工艺师在线会签、接收

收稿日期: 2023-02-07; 修回日期: 2023-03-05

作者简介: 邢香园(1990—), 男, 河北人, 硕士, 高级工程师, 从事航天产品数字化制造技术、制造执行系统 MES 研究。

E-mail: xxy_bit_job@126.com。

总体设计单位发放的电缆设计文档，包括电缆加工技术要求(含接点表、分支图、元器件/导线明细表等)及通用验收技术要求(含通用验收要求、关键指标要求、性能测试要求等)。

2) 工艺文件编制环节, 工艺师对设计文档中的电缆设计配套信息、加工/检测/验收技术要求等信息进行再提取、再组织、再利用, 进行放线表/配料卡/工时表等工艺报表的编制, 并依据电缆元器件/导线设计配套, 选用匹配的工艺方法及工艺参数, 进行电工艺过程卡及检验记录附表等作业文件的编制、审批、受控与发放, 并据此指导物资申领配套与电缆组件加工作业。

针对当前非结构化设计文档信息协同、人工重复性工艺决策与卡/表文件编制带来的设计工艺数据协同效率低、工艺准备效率低且周期长等突出问

题, 亟需开展以下研究与应用:

1) 以电缆 MBD 3 维数模为源头, 提取模型结构化设计信息, 降低工艺人员对非结构化设计信息再提取、再组织、再利用的重复性工作, 统一设计数据源, 支撑工艺快速生成。

2) 基于现有流程模板、工序模板等显性知识, 挖掘、固化电缆加工工艺智能决策规则等隐性知识, 采用规则智能推理方法, 实现电缆加工工艺方法自动选用、工艺流程与工艺内容自动生成, 取代人工重复性工艺决策与文件编制工作, 提升电缆工艺设计过程的知识化、智能化水平。

1.2 模型与知识驱动的电缆加工工艺快速生成方法

为实现航天电缆组件工艺设计过程知识化、智能化升级, 提出一种模型与知识驱动的航天电缆组件加工工艺快速设计方法, 实现流程如图 1 所示。

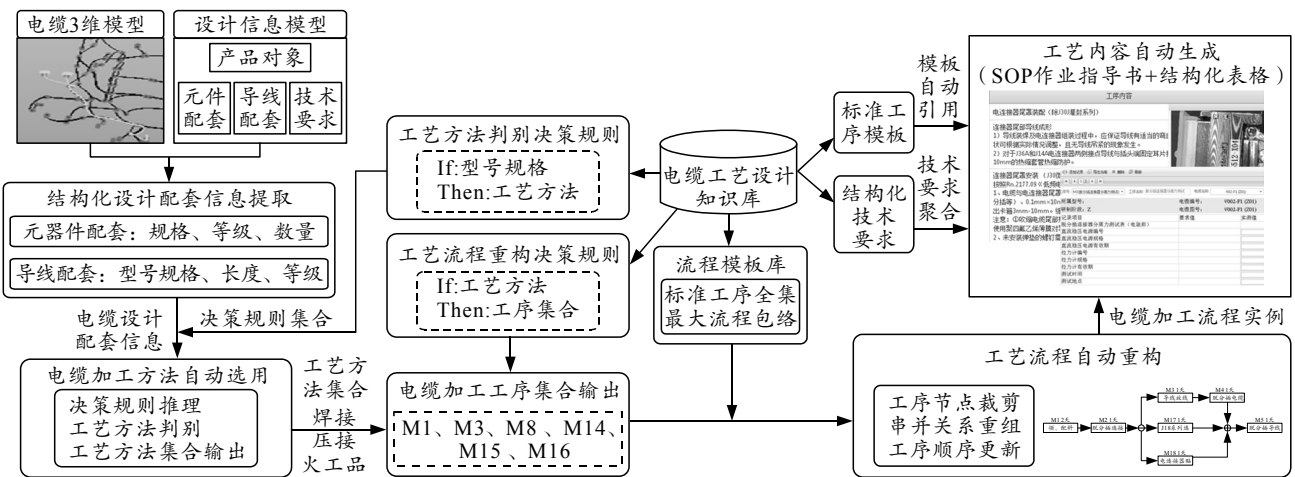


图 1 模型与知识驱动的电缆加工工艺快速设计方法

该方法以电缆 MBD 3 维数模为源头, 一是基于面向对象的电缆结构化设计信息模型, 自动提取电缆结构化设计配套信息, 作为电缆加工工艺设计的统一数据源; 二是建立以电缆加工流程模板、工序模板、决策规则、技术要求为核心的电缆结构化工艺设计知识库, 支撑智能化工艺设计; 三是基于结构化设计数据源, 采用决策规则推理方法, 自动判别、选用电缆加工工艺方法, 依据流程模板自动重构生成电缆加工工艺流程; 四是以电缆加工工艺流程为骨架, 聚合结构化工序模板、技术要求知识, 实现电缆加工工艺与检验表格的知识化、智能化快速生成。

2 基于 MBD 的电缆结构化设计信息提取

卫星电缆产品布局复杂、功能多样, 但其产品组成, 通常由电连接器、尾罩、螺钉、焊片、插

针/插孔等各类元器件及各型导线通过复杂的节点对应关系加工而成。为实现电缆模型结构化设计信息自动提取, 统一电缆制造全流程数据源, 结合卫星电缆产品组成特点, 构建了电缆 3 维结构化设计信息模型。以电缆 3 维模型组件对象为输入, 单根电缆结构化设计信息模型可定义为如下四元组:

$$D_{info} = \{B_{info}, C_{info}, W_{info}, T_{info}\}.$$

B_{info} 电缆基础设计信息, 定义为 $B_{info} = \{Index, Name, Code, Mdl_{info}\}$, 包括电缆唯一标识 Index、电缆名称 Name、电缆代号 Code、所属型号 Mdl_{info} 等关键基础信息。

C_{info} 电缆元器件配套信息, 定义为 $C_{info} = \{C_{index}, C_{type}, C_{code}, C_{specs}, Q_{req}\}$, 包括元器件唯一标识 C_{index} 、类型 C_{type} 、代号 C_{code} 、规格 C_{specs} 、需求数量 Q_{req} 。

W_{info} 电缆导线配套信息, 定义为 $W_{info} = \{W_{index}, W_{mdl}, W_{specs}, W_{bname}, L_{req}\}$, 包括导线唯一标识 W_{index} 、

导线型号 W_{mdl} 、规格 W_{specs} 、所属分支名称 W_{bname} 、设计长度 L_{req} 。

T_{info} 电缆加工技术要求信息，定义为 $T_{info}=\{T_{index}, T_{cnt}, T_{item}, T_{req}\}$ ，包括技术要求条目唯一

标识 T_{index} 、技术要求内容 T_{cnt} 、记录项目 T_{item} 、要求值 T_{req} 等信息。

综合运用面向对象的思想 and 数据库相关理论，建立了电缆结构化设计信息模型，如图 2 所示。

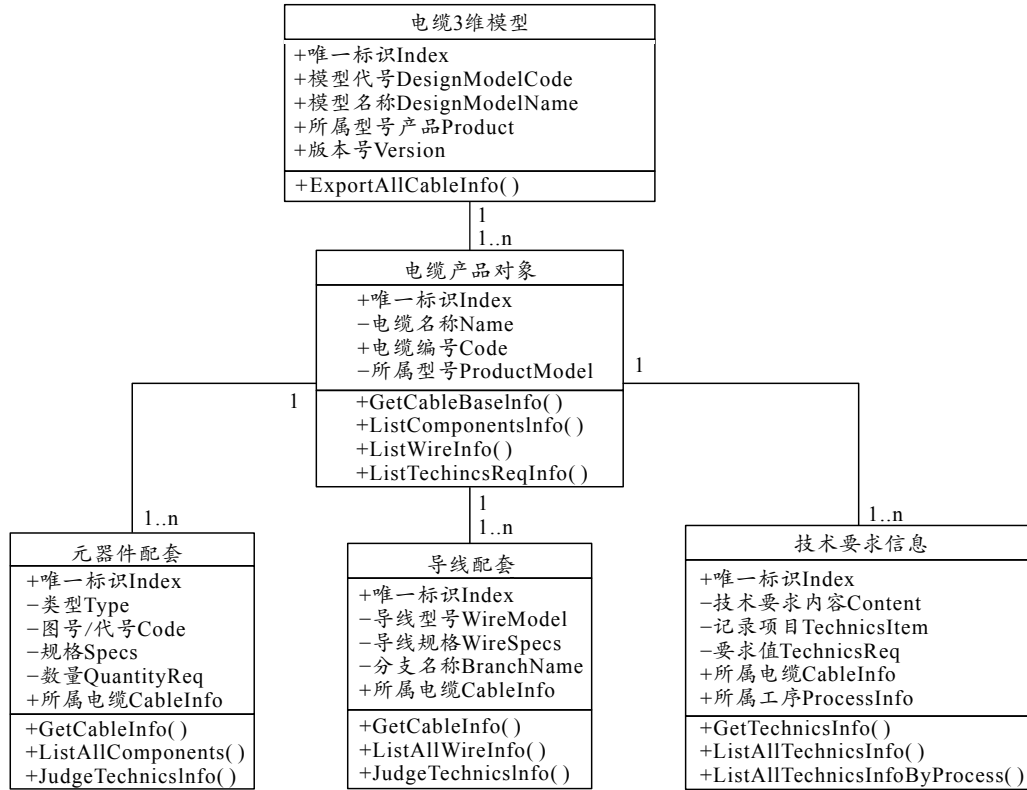


图 2 电缆结构化设计信息模型

基于电缆结构化设计信息模型，以电缆 3 维模型为输入，实现电缆产品基础信息、电缆元器件配套表/导线配套表等设计信息的批量自动提取与结构化关联存储，为电缆制造全流程提供统一的设计数据源支撑。

3 电缆结构化工艺设计知识库构建

融合知识工程思想，研究构建以工艺设计决策规则库、电缆加工流程模板库、电缆加工工序模板库和技术要求库为核心的电缆加工结构化工艺知识库，为电缆加工工艺智能生成提供结构化知识支撑。

1) 工艺设计决策规则库。

卫星电缆组件采用的元器件/导线型号规格繁多、工艺方法组合多样；传统工艺设计过程中，电缆工艺方法选用、组合涉及大量决策规则知识。为实现决策规则知识的结构化表达与统一存储，研究决策规则结构化表达与组合方法。

定义：规则对象 $R_{obj}=\{R_{index}, R_{cnt}, R_{result}, R_{type}\}$ ，用于表达电缆工艺设计决策过程涉及的最小规则单

元，具体表述为 $if \rightarrow R_{cnd}, then \rightarrow R_{result}$ ，其中：

R_{index} 表示规则在知识库中的唯一标识。

R_{cnd} 为输入条件集合，具体表述为 $R_{cnd}=\{Type, Condition\}$ ，其中：Type 表示输入条件的组合逻辑类型，包括与、或、非；Condition 表示输入条件内容集合。

R_{result} 为输出结果集合，具体可表述为 $R_{result}=\{Type, Result\}$ ，其中：Type 表示输入条件的组合逻辑类型，包括与、或、非；Result 表示输出结果内容集合。

R_{type} 为规则类型，包括工艺方法判规则、工艺流程重构规则。其中：工艺方法选用规则输入元器件、导线型号规格，输出该元器件或导线加工所需的工艺方法；工艺流程重构规则输入电缆加工工艺方法，输出该方法在流程模板中对应的工序集合。

在决策规则结构化、归一化表达的基础上，构建电缆加工决策规则库；通过 2 类决策规则单元的关联组合，实现对电缆加工过程工艺方法选用与流程重构所需复杂规则的组合表达，如图 3 所示。

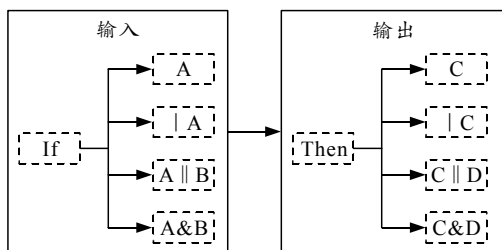


图 3 决策规则组合表达方式

以某型号电缆中 J30 系列焊接性电连接器工艺方法判别与工艺流程重构为例，工艺方法选用：
if%J30V2-*ZKS-%then%电连接器焊接&J30 系列电连接器。工艺流程重构：if%J30 系列焊接性电连接器%then%M34&M35。

2) 电缆加工流程模板库。

在对各类电缆产品加工工艺方法、工艺流程梳理的基础上，采用图形化、串并联混合的最大包络工艺流程图，柔性组合各类电缆加工工序，形成涵盖各类加工工艺方法、适用于不同类型电缆产品加工的流程模板，并结构化关联存储形式形成电缆加工流程模板库，为电缆加工流程自动重构提供统一的模板知识支撑。

3) 电缆加工工序模板库。

融合 SOP 标准作业指导理念，整合现有通用工艺/典型工艺/操作规范等指导文件，以工序为单元，固化工序作业指导内容、质量控制要求、环境要求、人员设备要求和工艺图示等要素，形成内容固化、存储结构化、呈现图示化的电缆加工工序模板，支撑电缆加工工序模板的自动引用、继承与工艺内容自动生成。

4) 结构化技术要求库。

针对检验表格人工重复编制工作量大、大量通用性技术要求知识结构化程度和重用率低的问题，研究构建电缆加工结构化技术要求库，原理如图 4 所示。以电缆加工流程模板为骨架，以标准工序为单元，将每道工序对应的质量控制、检验记录、工艺参数等非结构化文本要求，细化拆分为不可分割的规范化技术要求知识条目，包括记录项、要求项等不同类别，用以规范化定义数据记录的格式、要求值、记录方式与默认值等内容，以及通用作业指导内容中不涉及的特定工艺参数要求、工艺方法要求。通过流程模板、标准工序、技术要求间的层次化组织关联，实现结构化技术要求库的构建与统一管理。

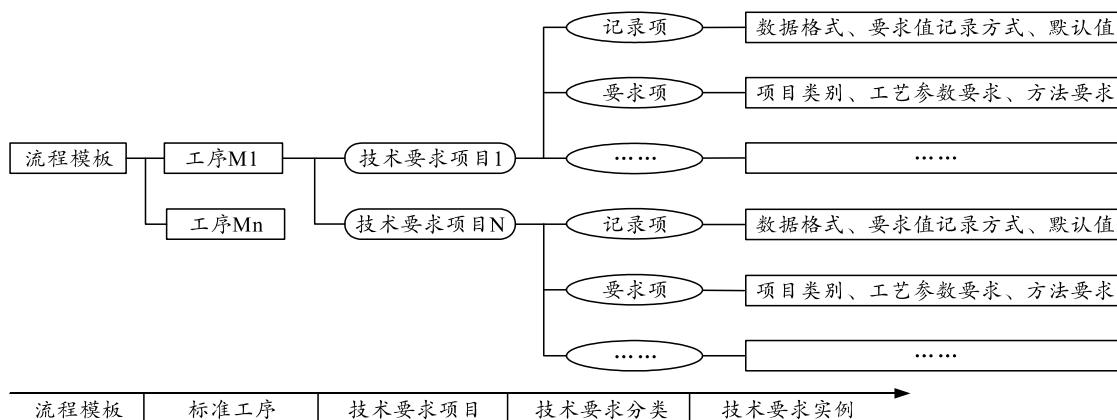


图 4 电缆加工结构化技术要求知识库构建原理

4 基于知识的电缆加工工艺智能生成

4.1 基于规则的电缆加工工艺方法自动判别

卫星电缆组件配套的元器件/导线型号种类繁多，其工艺方法选用及工艺流程组合形式多样。传统工艺编制模式下，工艺参数选用、工艺方法组合与工艺路线规划环节涉及大量的人工重复性工艺决策，工艺设计效率低、易出错。针对上述问题，采用基于规则的电缆加工工艺方法自动判别技术，以电缆结构化设计配套信息为输入，通过电缆加工方法判别规则，自动推理、判别并输出电缆产品加工

所需工艺方法集合，支撑电缆加工流程自动重构。

以某电缆组件 Cab_{obj} 为例，电缆加工工艺方法自动判别算法实现流程如下：

定义：电缆加工工艺方法自动判别算法

输入：电缆组件 Cab_{obj} 的元器件配套表 List<C_{info}>、导线配套表 List<W_{info}>、决策规则库 ListR<R_{obj}>。

输出：电缆加工工艺方法名称集合 ListTec_{idf}。

步骤 1：提取元器件配套表 List<C_{info}> 中元器件规格参数集 ListC_{specs}；

步骤 2：提取导线配套表 List<W_{info}> 中导线规格

参数集 $ListW_{mdl}$;

步骤 3: 遍历 $ListC_{specs}$ 中每项元素 $C_{specs[i]}$, 执行步骤 4;

步骤 4: 依据 $C_{specs[i]}$, 自动迭代、筛选 $ListR\langle R_{obj} \rangle$ 中每项规则输入条件 R_{cnd} 与元器件规格参数 s 完全匹配的决策规则条目, 形成工艺方法判别规则解集 $ListRc\langle R_{obj} \rangle$, 执行步骤 5;

步骤 5: 遍历工艺方法判别规则解集 $ListRc\langle R_{obj} \rangle$ 中的每项规则条目, 解析其规则输出结果 R_{result} , 合并、去重并加入工艺方法名称集合 $ListTec_{idf}$;

步骤 6: 对于导线规格参数集 $ListW_{mdl}$, 参照元器件规格参数集 $ListC_{specs}$, 循环执行步骤 3 至步骤 5;

步骤 7: 输出电缆加工方法名称集合 $ListTec_{idf}$, 并关联更新至电缆产品对象 Cab_{obj} 中, 算法结束。

以某卫星型号电缆组件 XX-1A-W042-F1(Z01) 为例, 其设计配套输入、引用的决策规则集合及输出的电缆加工工艺方法结果集合示例如表 1 所示。

4.2 基于模板的电缆加工流程自动重构

在电缆加工工艺方法自动判别的基础上, 研究

基于模板的电缆工艺流程自动重构方法。该方法依据判别出的电缆加工工艺方法集合, 自动调用工艺流程生成决策规则, 解析、提取并输出电缆加工工序集合; 依据电缆加工工序集合, 自动调用电缆加工通用流程模板, 并进行工序节点裁剪、串并联关系重组与工序顺序更新, 自动生成电缆加工工艺流程, 实现原理如图 5 所示。

表 1 电缆加工工艺方法判别示例

电缆编号	设计配套	工艺特性判别规则	判别结果
XX-1A-W042-F1(Z01)	J6W-44B02 JNMB	ifthen%%J6W-*J%%手工压接, 尾罩装配(除 J30 焊接系列), J6W 防脱落	普通导线脱头, 屏蔽线导线脱头, 导线
	KZ036-2T KL	ifthen%%KZ036%%火工品焊接, 火工品回路阻值测试, 尾罩装配(除 J30 焊接系列)	放线, J6W 防脱落, 绑扎, 屏蔽层接地
	Y8C-4TK	ifthen%%Y8%%电连接器焊接(非火工品), 尾罩装配(除 J30 焊接系列)	处理, 屏蔽层绝缘处理, 尾罩装配(除 J30 焊接系列), 手工压接, 焊片焊接, 电连接器焊接(非火工品), 火工品焊接
...
导线配套	X2P-22	ifthen%%X*P-%%导线放线, 屏蔽线导线脱头, 屏蔽层接地处理, 屏蔽层绝缘处理	...
	D-22	ifthen%%D-2%%导线放线, 普通导线脱头	...

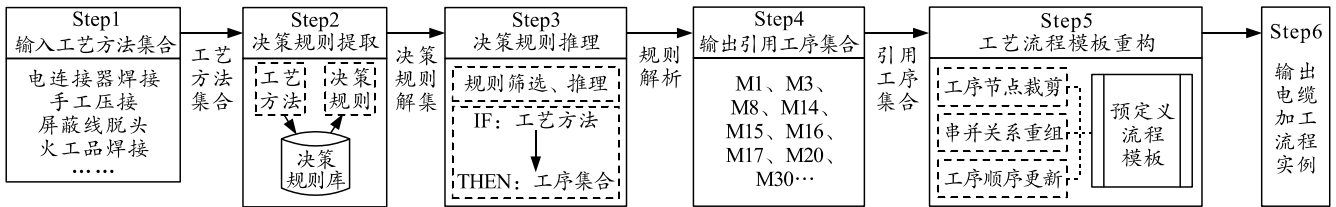


图 5 电缆加工工艺流程自动重构实现原理

以某电缆产品对象 Cab_{obj} 为例, 其加工流程自动重构算法包括电缆加工工序选用算法、电缆加工流程重构算法, 具体算法实现如下:

1) 算法 1: 电缆加工工序选用算法。

输入: 电缆工艺流程重构决策规则集合 $ListR\langle R_{obj} \rangle$ 、电缆组件 Cab_{obj} 的加工工艺方法集合 $ListTec_{idf}$ 。

输出: 电缆组件加工工序集合 $ListP$ 。

步骤 1: 遍历 $ListTec_{idf}$ 中每项工艺方法名称 Tec_{idf} , 执行步骤 2;

步骤 2: 依据 Tec_{idf} , 自动检索、提取 $ListR\langle R_{obj} \rangle$ 中规则输入条件 R_{cnd} 与工艺方法名称 Tec_{idf} 相匹配的决策规则条目, 形成电缆加工工序选用规则集合 $ListRf\langle R_{obj} \rangle$, 执行步骤 3;

步骤 3: 自动提取 $ListRf\langle R_{obj} \rangle$ 中每条工艺流程

重构规则 Rf_{obj} , 提取 Rf_{obj} 定义的规则输出结果 R_{result} , 即该工艺方法对应电缆加工流程模板中的工序集合 $ListP_s$, 并将其加入电缆加工工序集合 $ListP$;

步骤 4: 重复执行步骤 2 至步骤 3, 直至 $ListTec_{idf}$ 中全部电缆加工工艺方法遍历完成, 输出电缆加工工序集合 $ListP$ 。

2) 算法 2: 电缆加工流程自动重构算法。

输入: 电缆加工工序集合 $ListP$ 、电缆加工流程模板 $FlowTemplate$ 。

输出: 电缆组件 Cab_{obj} 对应的加工工艺流程 $TechFlow$ 。

步骤 1: 自动复用电缆加工流程模板, 依据初始的电缆加工流程模板, 自动判别每道工序节点的串行、并行属性, 相关定义与判别规则如下:

定义: 以符号 \oplus 定义电缆加工流程模板中的汇

合节点，以符号 \odot 定义流程模板中的分支节点；

串并行工序判别规则如下：

同一分支节点 \odot 之后且同一汇合节点 \oplus 之前的多道工序，定义为并行节点；

同一分支节点之后且均无紧后工序的多道工序，定义为并行节点；

同一汇合节点 \oplus 之前且均无紧前工序的多道工序，定义为并行节点；

其余工序节点，定义为非并行节点；

串并行工序裁剪规则如下：

对于非并行工序，其裁剪后可仍为非并行工序、可更新为并行工序，但不会影响原有并行工序；

对于并行工序，其裁剪后可仍为并行工序、可更新为非并行工序；

步骤 2：遍历流程模板中工序节点信息，依据工序名称序号，自动匹配并输出该电缆不涉及的工序节点集合，即流程模板 FlowTemplate 中不包含于 ListP 中的工序节点集合 ListPe；

步骤 3：按照串并行工序裁剪规则，首先将 ListPe 中的非并行工序节点从流程模板 FlowTemplate 中裁除，更新裁剪后的工序顺序号并重新建立前后关联；执行步骤 1，更新剩余工序节点的串并行属性；

步骤 4：按照串并行工序裁剪规则，将 ListPe 中的并行工序节点从步骤 3 一次裁除后的流程模板 FlowTemplate 中二次裁除，更新裁剪后的工序顺序号；执行步骤 1，更新剩余工序节点的串并行属性，重新建立工序前后关联关系，执行步骤 5；

步骤 5：输出裁剪、次序更新、串并行关系重组后的电缆加工工艺流程 TechFlow。

4.3 知识驱动的电缆加工工艺内容自动生成

为降低电缆加工作业文件重复性人工编制工作量，提升作业文件的规范性和一致性，研究知识驱动的电缆加工工艺内容自动生成方法，以自动重构的电缆加工流程为核心，通过 SOP 化电缆加工工序模板自动引用、工序级技术要求知识聚合与结构化检验表格自动生成，实现电缆加工工艺内容的自动生成。

1) 模板工序知识自动引用。

在电缆加工流程自动重构的基础上，以工序为单元，自动引用标准化、通用化的电缆加工工序模板，继承标化工序工步内容、工艺附图、工装工具及仪器设备等资源配套，通过工艺流程聚合生成

电缆加工工艺内容，从而取代传统文件编制与模板选用等重复性人工劳动，提升电缆加工工艺的生成效率与工艺内容的规范性、一致性。

2) 基于知识聚合的结构化检验表格自动生成。

以电缆加工结构化、标准化技术要求知识库为支撑，采用层次化、单元化设计思想，针对每道工序，通过“工艺流程 \rightarrow 工序节点 \rightarrow 技术要求项目 \rightarrow 记录要素”的映射关系，自动调用各类标准化技术要求知识，聚合生成多功能、结构化检验表格，从而取代工艺师人工重复性表格定制工作量，规范数据记录内容、手段及要求，支撑电缆加工过程结构化、集成化数据采集。基于知识聚合的结构化检验表格自动生成实现原理如图 6 所示，具体如下：①以工序为单元，自动调用知识库中关联的结构化技术要求条目。②依据工序所属的型号产品属性及关联的技术要求项目名称、数量、类型等渲染表头、表体、行列及单元格样式属性。③依据技术要求定义的数据格式、记录方式，自动渲染多样化单元格功能属性，包括文本录入、静态文本、单选/多选框、影像记录、电子签署等功能。④以单元格为基本单元，聚合表格样式属性和功能属性，生成集在线记录、电子签署、在线影像记录等于一体的标准化、结构化检验记录表格。

4.4 面向制造执行与反馈的工艺质量评估与优化

为有效保证系统自动生成的电缆加工工艺文件质量，满足电缆加工工艺内容的完整性、工艺流程与工艺参数的准确性、作业指导文件的可执行性要求，研究建立面向制造执行与反馈的工艺质量评估与优化机制，包括基于规则工艺规范性辅助审查、面向制造执行反馈的工艺知识迭代优化。

1) 基于规则工艺规范性辅助审查。

电缆下发投产计划前，针对系统自动生成的电缆加工工艺，采用基于规则的结构化工艺评价与优化方法^[7]，系统依据决策规则库中预定义的工艺规范性审查规则，对电缆加工禁限用工艺选用、工艺流程先后逻辑顺序、关键工艺参数引用准确性等进行辅助审查与审查结果输出，辅助工艺人员对自动生成的加工工艺流程、自动引用的工艺参数与加工与检验技术要求进行快速审查与优化完善。

2) 面向制造执行与反馈的工艺知识迭代优化。

为实现电缆加工工艺文件生成质量的持续迭代优化，建立面向制造执行与反馈的工艺知识迭代优化机制。通过现场制造执行与反馈情况，对工艺文

件的完整性、准确性和可执行性加以验证；同时，针对流程模板/工序内容模板适用性不足、工艺方法判别与工艺流程重构差错、工艺参数引用准确性与技术要求完整性问题，依据现场工序恢复/取消/顺

序调整、工艺内容/检验表格划改等异常处理数据，对模板知识库、决策规则库、工艺选用与流程重构算法进行更新迭代，实现自动生成工艺文件差错的持续迭代收敛，保证工艺文件生成质量。

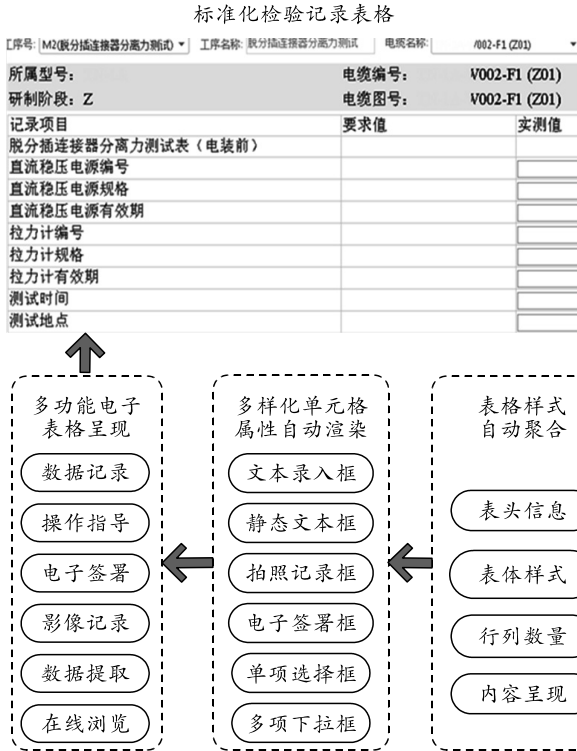
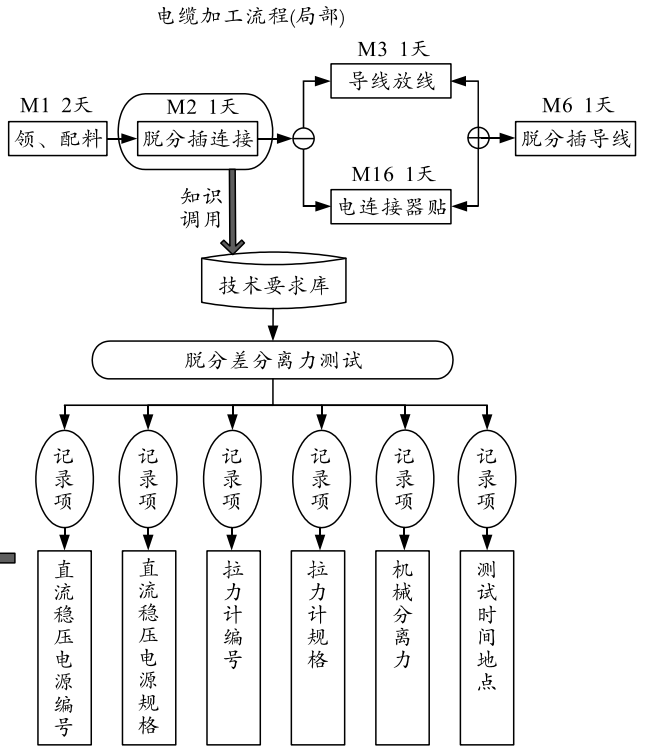


图 6 基于知识聚合的结构化表格快速生成原理



5 系统实现与应用

基于上述研究，采用层次化、模块化设计思路，自主设计开发了 B/S 架构的电缆加工工艺快速设计

系统，总体架构如图 7 所示，包括电缆模型设计信息提取、电缆工艺设计知识库管理、电缆加工工艺智能生成等主要功能。

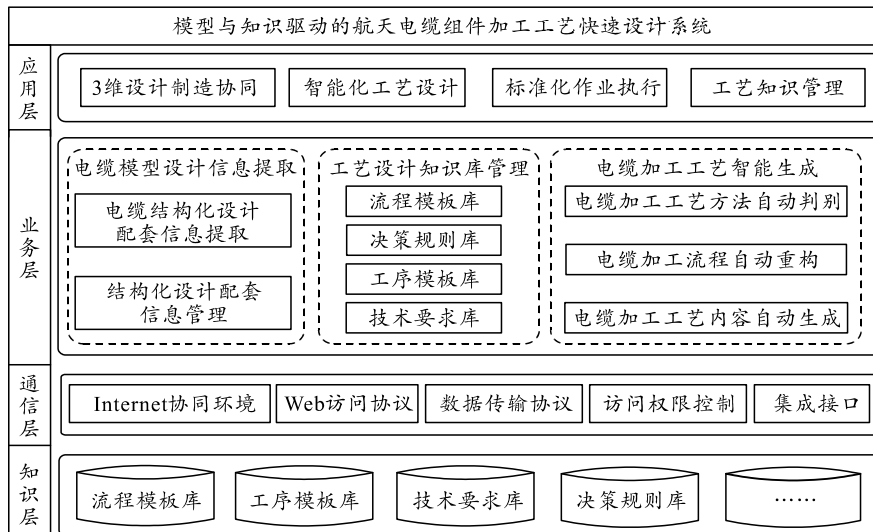


图 7 系统体系架构

经试点应用验证，目前该系统已实现全型号推广应用，与人工重复性录入式工艺设计模式相比，电缆工艺准备效率提升约 50%，成效显著。主要功

能如下：
设计信息提取模块，实现基于模型的电缆元器件配套、导线配套等结构化设计配套信息自动提取，

支撑电缆加工工艺自动生成，如表 2 所示。

表 2 电缆结构化设计信息自动提取与报表生成

序号	名称	代号	型号规格	数量	质量等级
1	分离插座	K501-X01	YF8-64ZKL	1	SAST
2	电连接器	K280-X01	Y27A-12-4BNBD	1	SAST
3	尾罩		Y27-12III	1	SAST
4	电连接器	K501-X03	KZ036-27J18 AMA-15S	1	SAST
5	电连接器	K280-X03	KZ036-127J18 AMA-15S	1	SAST
6	电连接器	K501-X04	J36A-12ZKL	1	SAST
7	焊片	K280-X04	J36A-12ZKL	1	SAST
8	电连接器	K501-X13	KZ036-7J18 AMA-15S	1	SAST
9	电连接器	N301H-X03	KZ036-7J18 AMA/15S	1	SAST
10	插针		CX-1A-5P	1	GJB
11	插孔		CX-1A-5S	1	GJB
12	插针		CX-1A-5P	1	GJB
13	插孔		CX-1A-5S	1	GJB
14	导线 X2-20		55/0122-20-9/96	13.67 m	GJB
15	导线 D-26		55/0312-26-9	15.535 m	GJB
16	导线 D-20		55/0112-20-9	20.015 m	GJB

电缆加工工艺知识库管理，实现电缆设计配套信息、电缆加工流程模板、工序模板、决策规则与技术要求等的结构化存储与统一管理，支撑电缆加工方法自动判别、工艺流程自动重构与工艺内容智能生成，如图 8 所示。

工艺模板编号	适用型号	工序名称	技术要求
Rr.2086.010	通用	脱分插连接器分离力测试	脱分插连接器分离力测试表(续)
Rr.2086.010	通用	脱分插连接器分离力测试	直流稳压电源编号
Rr.2086.010	通用	脱分插连接器分离力测试	直流稳压电源规格
Rr.2086.010	通用	脱分插连接器分离力测试	直流稳压电源有效期

规则内容

ifthen%J30H*ZK00%手工压接

ifthen%J30H*J000%手工压接

ifthen%J6W-*K1%电连接器焊接(非火工品),尾罩装配(除J30焊接系列),J6W防脱落

ifthen%J6W-*J1%电连接器焊接(非火工品),尾罩装配(除J30焊接系列),J6W防脱落

ifthen%J6W-*KNMB%手工压接,尾罩装配(除J30焊接系列),J6W防脱落

ifthen%J6W-*JNMB%手工压接,尾罩装配(除J30焊接系列),J6W防脱落

图 8 电缆工艺知识库构建与管理

电缆加工工艺智能生成，如图 9—11 所示，实现电缆加工工艺方法自动选用、工艺流程自动重构、工艺内容智能生成与可视化作业指导文件在线发放，取代人工重复性工艺参数与方法选用、组合等决策工作，工艺设计效率与工艺设计过程知识化、智能化水平显著提高。

型号阶段: 全部 产品标识: 请选择产品标识

编辑	型号代号	电缆图号	工艺特性
<input type="checkbox"/>	05	W007	品)手工压接,尾罩装配(除J30焊接系列),J6W防脱落,导线防脱,普通导线脱头,绑扎,专检(5个以下连接器),电连接器*6
<input type="checkbox"/>	05	W006	J6W防脱落,手工压接,尾罩装配(除J30焊接系列),导线防脱,普通导线脱头,绑扎,专检(5个以下连接器),电连接器*6
<input type="checkbox"/>	1(05)	W005	J6W防脱落,手工压接,尾罩装配(除J30焊接系列),导线防脱,普通导线脱头,绑扎,专检(5个以下连接器),电连接器*4

图 9 电缆加工工艺方法自动判别

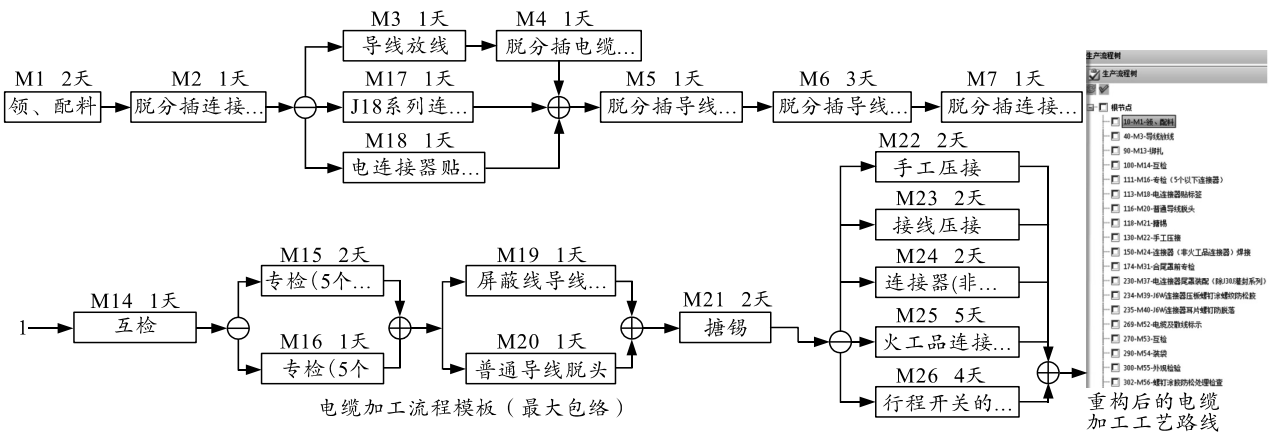


图 10 基于模板和规则的电缆加工流程自动重构

工种	工序内容	所属型号	研制阶段	记录项目	要求值	实测值
M37	电装	电连接器尾罩装配(除J30灌封系列)	Z	脱分插连接器分离力测试表(电装前)		
M37.1	电装	连接器尾部导线成形 1) 导线装焊及电连接器组焊过程中, 应保证导线有适当的弯矩, 并可依据实际情况调整, 且无导线用紧的现象发生。 2) 对于J36A和J14A电连接器两侧接点导线与插头端固定耳片10mm的热缩套管热缩防护。	Z	直流稳压电源编号 直流稳压电源规格 直流稳压电源有效期 拉力计编号 拉力计规格 拉力计有效期 测试时间 测试地点		
M37.2	电装	连接器尾罩安装 (J30微矩形系列灌封连接器暂不安装) 按照Rn.2177.09《低频电缆制作通用工艺》工序4.4执行。 1、电缆与电连接器尾罩卡箍夹住的部位缠裹0.1mm×13.5mm分插等)、0.1mm×10mm(KZ036、KZ038、Y4系列等)的热出卡箍3mm-10mm。缠裹的热缩薄膜允许与尾罩留有间隙。 注意: ①吹缩电缆尾部热缩膜时, 热风枪设置为200℃, 连续使用聚四氟乙烯薄膜对导线束进行热防护, 防止导线绝缘皮过2、未安装弹垫的螺钉需用力矩螺丝刀紧固, 带有弹垫的螺钉!	Z			

图 11 电缆加工工艺内容与检验表格自动生成与应用