卫星设计数据工艺性审查系统研究

上海卫星装备研究所　吴剑锋 万峰 袁佳晶 邢香园

针对卫星总装阶段需要开展工艺性审查的设计数据内容复杂多样、审查数据专业和种类多并对审查意见有统计分析的要求等特点，提出了一种基于要素的卫星辅助设计工艺性审查系统，研究了工艺性审查要素与工艺性审查表柔性定制机制、工艺性审查表与会签流程的融合与应用机制、基于工艺会签意见统计分析机制等关键技术，并介绍了系统实现办法和主要功能。该系统已成功应用于多个卫星型号研制中，应用效果良好。

一、引言

工艺性是指在给定的质量指标值和当前的制造、使用条件下，保证劳动、设备、材料和工时费用最合理的结构特性的综合；工艺人员对设计方案进行工艺性审查，避免发生难以制造的问题，对保证产品质量，缩短研制周期，提高生产效率，降低成本等具有重要意义。卫星总装试验阶段是典型的边设计边生产的“增量式”研制模式，具有设计涉及专业多、研制过程不断优化设计、设计更改频繁、质量控制严格等特点。为了控制研制进度和质量，卫星设计和工艺协同是当前采取的重要手段之一，工艺人员通过对卫星设计数据开展工艺性审查，审查设计的合理性和工艺性能优劣，暴露隐含的工艺问题，避免了很多制造后期的设计返工，能显著降低成本，增强产品的竞争力。

目前国内很多单位开展了基于特征、知识和人工智能的设计工艺性审查的研究和应用，航天科工某厂研究了基于知识的型号产品工艺性审查技术，该技术主要用于航天零件设计工艺性审查。总装试验阶段设计数据除了装配模型外还有大量的图纸、试验大纲、实施细则、研制流程及更改单等数据，这些数据无法通过特征识别提取并基于规则自动进行判断工艺合理性，对这些设计数据的工艺性审查主要还是基于行业规范、个人经验及研制实际情况进行审查。

本文针对卫星总装阶段设计工艺性审查的特点和需求，提出一种基于工艺性审查要素的卫星总装环节设计工艺性审查系统，该系统作为 PDM 系统的核心子系统之一，采用基于要素的工艺性审查项定义、应用、统计分析和数据管理方法，开发并优化当前设计工艺性审查的功能，在多个卫星型号中开展了工程应用，取得了良好的效果。

二、卫星总装阶段设计工艺性审查需求

卫星总装阶段设计工艺性审查根据设计数据成熟度主要划分为两个阶段，主要是工艺预审和工艺会签两个阶段。当前，设计单位和总装单位间实现了基于 PDM 设计制造数据协同，实现了电子会签；卫星总装单位总结了针对卫星总装阶段涉及的技术要求、测试大纲、实施细则及技术流程等设计文件的具体内容总结形成了 500 多条工艺性审查要点（本文把工艺性审查要点称为“要素”）并组成 40 多个工艺性审查表，工艺会签人员根据这些审查表可以对设计数据开展会签工作。相对于以往的纸质会签模式现在的会签已经有了较大进步，但是仍然存在问题：（1）工艺性审查要素没有实现结构化，也没有存储到数据库中，更新、查找、维护和使用困难；（2）PDM 系统的电子会签流程没有与工艺性审查要素表关联，致使填写在工艺性审查要素表中的意见无法随流程一并反馈给设计师；（3）工艺性审查意见不是结构

化数据且存储在不同会签人员电脑中，无法对会签意见进行深度统计分析汇总。

针对以上问题，亟需开发和优化相关系统功能来支撑相应的工作。首先要把总结形成的工艺性审查要素表存储到数据库中，并开发相应的管理模块进行管理，提高查询、利用和更新的效率；同时还需要对 PDM 系统的工艺会签环节进行改造，把设计数据工艺性审查要素表集成到会签节点中，让工艺人员对照审查要素表审阅文件，同时在审查要素表中填写意见信息；最后系统还要能够对审查意见进行统计汇总和分析，指导后续的会签和工艺设计工作。

三、系统主要功能与实现原理

基于要素的卫星辅助设计工艺性审查系统的主要功能与实现原理如图 1 所示，简要描述如下。

（1）本系统是在企业 PDM 系统基础上开发实现的，需要 PDM 系统的基础功能做支撑，涉及的基础功能包括数据定义、数据组织、访问控制和统计分析等。

（2）系统主要功能包括工艺性审查要素管理、工艺性审查要素表应用和统计汇总分析三个模块。其中工艺性审查要素管理包括要素类型管理、要素定义、要素组合和要素管理等功能；工艺性审查要素表应用模块功能主要有审查表与流程关联配置、审查表选用、审查意见填写、审查表访问权限控制和审查表读取和导出等；统计汇总分析模块主要功能有统计报表定义、数据查询、统计分析和数据挖掘等功能。

（3）系统的主要应用是支撑所外设计文件的会签和单位内部技术文件的签署，使签审工作更加标准化和知识化。

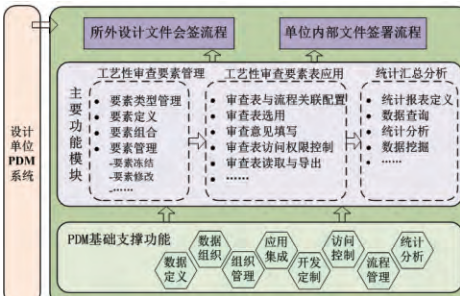

图 1 卫星辅助设计工艺性审查系统主要原理

四、主要关键环节实现

1. 工艺性审查表柔性化定义

由于统计分析要求对审查意见表可以从型号产品、审查表类型、审查项、技术文件类型等维度开展；设计文件涉及的专业繁多，总装试验阶段文件达数百至数千份，工艺性审查表按照专业或类型与设计文件进行对应，其数量也达数十至上百份；工艺性审查表因设计文件的不断变化也需要不断更新完善，系统审查要素和审查表能够支持不断完善。因此系统设计开发了工艺性审查意见表柔性定制工具，可以高效定义的工艺性审查项和工艺性审查表。

（1）工艺审查要素分类与定义：系统首先对工艺性审查最基本的元素工艺性审查要素进行分类和定义，按照文件载体分为三大类，文件载体表达的设计信息各有侧重，在各个大类下再按照专业分小类，在具体小类下再定义具体的审查项。分类与定义如图 2 所示。如“外贴弯热管卡箍安装位置应离弯曲部位边缘 50mm 以上”是热控专业的一条审查要素。

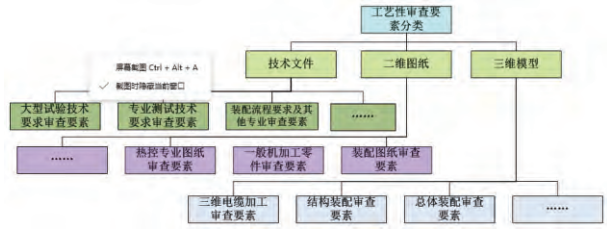

图 2 工艺审查要素分类与定义

（2）工艺性审查表定义：工艺性审查表从设计数据表达定义和要求出发，根据不同设计数据的内容设定要审查的项目，主要从经济性、可行性等方面考虑，工艺性审查表由若干条工艺性审查要素组成，某一条审查要素也可以被不同的审查表引用。如图 3 所示为工艺性审查表与审查要素之间的关系图。

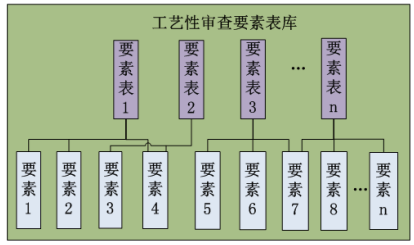

图 3 工艺性审查要素表定义

（3）工艺性审查表实例化与存储：工艺性审查表最终会在工艺会签时被会签人员实例化，实例化的表格作为对象存储在系统里供查看及后续的数据提取分析。

2. 会签流程与工艺性审查要素库融合与应用

当前设计数据会签流程由设计单位 PDM 系统发起，当流程进行到工艺会签或外部会签环节时进入总装单位 PDM

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn

系统由对应的会签负责工艺师和协助会签工艺师完成会签，为了使工艺性审查表能够支撑会签工作开展，设计了一种会签流程与工艺性审查要素表融合与应用的办法，主要原理如图 4 所示。融合与应用的要点有以下两点。

（1）对工艺会签和外部会签节点进行改造，在这两个节点中植入工艺性审查表库，由会签工艺师根据设计文件内容选择对应的一个审查要素表并实例化。

（2）会签工艺师对照审查表审阅设计文件并在表中要素项填写意见信息，如果驳回流程意见表可以一并反馈给设计师，会签意见表同事保存在本单位 PDM 系统里供查询。

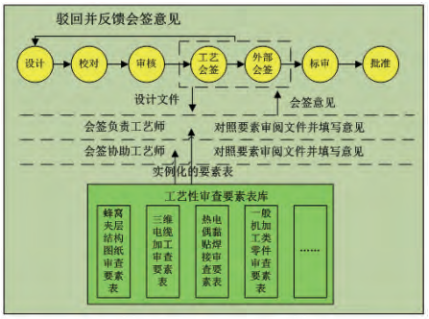

图 4 会签流程与工艺性审查要素库融合应用原理

3. 基于会签意见数据的统计分析

会签意见数据是卫星总装试验阶段宝贵的数据之一，通过对这些数据进行深度挖掘分析，可以从不同维度了解原始数据的情况，可以预判潜在的风险，统计常见的问题项等，基于会签意见数据的统计分析原理如图 5 所示，主要的要点有：（1）统计查询定义，即定义查询单维度或多维度原始数据中的数据的办法；（2）按照定义的查看办法查询数据；（3）以表格、柱状图及曲线等多种表现形式展现查询的数据。

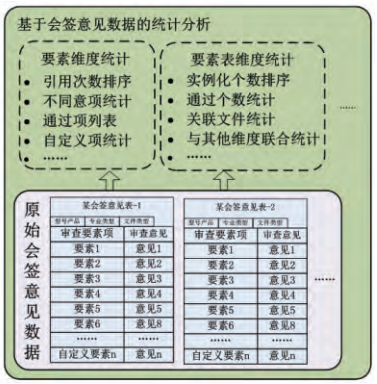

图 5 基于会签数据的统计分析原理

五、系统实现与应用

基于上述研究，本文设计开发了“卫星辅助设计工艺性审查系统”。该系统在原有 PDM 系统的开发框架下，基于 java 开发了 B/S 架构的系统主体功能模块。该系统在风云四号等重点型号卫星总装试验阶段设计工艺性审查过程中开展了应用，在设计数据会签标准化、会签意见存储与分析等方面取得了较好的应用效果。系统主要功能模块如下。

（1）工艺性审查要素与工艺性审查表模板定义模块：该模块主要用于检查要素项定于维护、工艺性审查表模板定义和维护等，其主要界面如图 6 所示。

图 6 工艺审查要素项和审查表模板定义页面

（2）会签流程与工艺性审查意见要素表融合应用模块：该模块主要是把要素表模板与流程结合，可以在流程中选择模板进行实例化，并可以在实例化的模板中填写意见，主要的页面如图 7 所示。

图 7 会签流程与工艺性审查要素表融合应用界面

（3）统计分析模块：该模块主要是对各类基础数据进行统计汇总，供用户从不同视角查看审查信息。如图 8 所示为某型号工艺性审查表的统计汇总。

图 8 某型号工艺性审查表汇总

六、结语

本文针对卫星总装试验阶段设计数据会签遇到的问题，在分析了该业务运行实际的基础上，提出一种基于要素的卫星辅助设计工艺性审查系统，明确系统实现原理，并重点研究了工艺性审查要素表柔性定义、会签流程与工艺性审查要素表融合应用和基于会签意见数据的统计分析等关键技术。通过系统开发和应用，提高了设计数据工艺会签环节的标准化，并为后续对会签意见数据的深度挖掘提供数据源。