

参数化设计在船舶舾装标准件库中的应用研究

马廷毓 尚文剑 苏晨阳
上海外高桥造船有限公司 上海 200000

摘要：船舶舾装设计涉及大量标准件，传统手工建模方式存在重复劳动多、数据一致性差、管理效率低等问题。本文针对船舶舾装标准件的特点，提出基于参数化技术的标准件库构建方法。通过分析舾装标准件的分类体系与功能需求，系统阐述了参数化建模、知识工程融合、数据库架构及接口集成等关键技术，并给出了系统实现路径与具体案例。应用表明，该方法可显著提升设计效率与标准化水平，为船舶数字化设计提供有效支撑。

关键词：参数化设计；船舶舾装；标准件库；三维建模；知识工程；模块化设计

引言：船舶舾装是船舶建造的重要组成部分，其设计工作量约占全船设计的40%-60%。舾装件中大量存在门、窗、梯、通风头、法兰等标准件和典型件，传统设计中需反复建模，不仅效率低下，且易因人为失误导致模型与图纸不一致。参数化设计技术通过尺寸驱动和特征关联，能够实现模型的快速生成与自动更新。本文立足于船舶舾装设计实际需求，系统研究参数化技术在标准件库建设中的关键技术及实现路径，以期为船舶行业数字化转型提供可行方案。

1 船舶舾装标准件库需求分析

1.1 舾装标准件分类与特性

船舶舾装标准件种类繁多，按功能可划分为封闭件、通行件、连接件和辅助件四大类。封闭件包括各类水密门、窗、人孔盖、舱口盖等，其主要特征是具有密封结构和锁紧机构；通行件包括斜梯、直梯、踏步、栏杆等，强调结构强度与防滑性能；连接件涉及螺栓、眼板、卸扣等标准紧固件；辅助件则涵盖通风头、电缆托架、管卡等支撑与贯通件。从几何特性看，舾装标准件具有明显的系列化特征，同一类产品仅在关键尺寸（如开口大小、高度）上存在差异，而结构拓扑基本保持不变。这一特性为参数化设计提供了天然的适用条件，使得通过有限的主参数驱动生成全系列模型成为可能^[1]。

1.2 标准件库的核心功能需求

船舶舾装标准件库的建设需满足多方面功能需求。首先是模型的快速生成能力，设计人员应能通过输入少量关键参数，系统自动完成三维模型的创建、修改与更新。其次是数据的准确性与一致性保障，库中所有模型必须符合国标、行标及船级社规范，且同一规格在不同项目中的表现应完全一致。第三是便捷的检索与调用机制，用户可按分类目录、规格代号或关键词快速定位所需标准件。第四是与现有设计环境的无缝集成，标准件

库应嵌入主流CAD平台（如SolidWorks、Catia、NX），并提供直观的操作界面。此外，库系统还需具备版本管理、权限控制以及与PDM/ERP系统对接的能力，确保标准件数据在企业范围内统一管理并协同使用。

2 参数化设计关键技术

2.1 参数化建模方法

参数化建模是实现标准件库的核心技术手段，目前主要有三种实现路径。其一是表格驱动法，通过Excel设计表定义多组参数组合，CAD模型根据所选定行自动更新，该方法实现简单、无需编程，适用于参数组合有限的标准件。其二是程序驱动法，利用CAD平台提供的API接口（如SolidWorks API、Catia CAA），通过脚本或应用程序动态创建和修改模型，灵活性高但开发工作量较大。其三是规则驱动法，基于知识工程语言（如Catia知识顾问）建立参数间的约束关系和推理规则，可实现复杂的智能选型与自动优化。实际应用中往往混合使用上述方法：对于系列化程度高的门、窗类产品，采用表格驱动为主；对于关联逻辑复杂的组合件，则辅以程序或规则驱动，以实现参数传递与模型重生的可靠性。

2.2 知识工程融合

知识工程融合是提升标准件库智能化水平的关键方向。传统参数化设计仅解决“尺寸可变”问题，而知识工程进一步将设计规范、工程经验和选型规则嵌入系统。具体而言，需构建三个层面的知识库：一是参数关联知识，定义主参数与从参数之间的数学关系（如门的高度增加时，铰链数量相应增加）；二是约束验证知识，自动检查参数输入是否超出合理范围或违反规范要求（如最小板厚限制）；三是选型推荐知识，基于应用场景（如安装位置、载荷等级）向用户推荐合适的规格系列。例如，在通风头参数化设计中，系统可根据风量要求自动计算所需通径，并验证风速是否在允许范围

内^[2]。通过知识工程融合,标准件库从“被动响应”走向“主动引导”,降低了设计师的专业门槛。

2.3 数据库架构设计

标准件库的底层支撑是数据库系统,其架构设计直接影响数据管理效率与系统可扩展性。采用三层数据架构是较为成熟的方案:基础数据层存储标准件的规格参数表、材料属性、标准编号等静态信息;逻辑层定义参数之间的映射关系、约束条件及模型生成规则;应用层则面向用户提供查询、预览、生成等交互功能。数据表设计应遵循规范化原则,以标准件分类为主键,每个规格对应一条记录,参数字段包括主参数、从参数、模型文件路径、缩略图等。为避免数据冗余,可将共性属性(如材料、表面处理)抽取为独立的属性表。对于参数组合庞大的情况(如法兰按公称通径和压力等级二维扩展),需采用矩阵式参数表设计。数据库选型上,单机应用可采用Access或SQLite,网络协同环境则宜采用SQL Server或MySQL。

2.4 接口与集成技术

标准件库需与CAD平台、PDM系统及企业ERP系统实现数据互通,接口与集成技术是保障系统流畅运行的关键。与CAD平台的集成主要通过API实现:前端界面获取用户参数后,调用CAD建模函数生成或更新模型,并返回模型句柄供后续操作。接口设计需考虑错误处理机制,当参数驱动导致特征重建失败时,系统应给出明确提示并支持回滚。与PDM系统的集成侧重于版本控制与BOM输出,标准件模型生成后,应自动触发PDM入库流程并生成唯一物料编码。与ERP系统的对接则主要体现在物料信息的同步,标准件的规格、材料、重量等数据应能无缝传递至采购与成本核算模块。为保证跨平台兼容性,建议采用中性文件格式(如STEP、IGES)作为备选输出方式,方便与非主流CAD系统进行数据交换。

3 参数化标准件库的实现路径

3.1 系统架构设计

参数化标准件库采用客户端/服务器(C/S)架构,分为表示层、业务逻辑层和数据层三个层次。表示层运行在用户CAD环境中,提供菜单、工具栏、对话框等交互界面,捕获用户输入的参数并展示模型预览。业务逻辑层部署在应用服务器上,负责参数校验、模型驱动计算、特征操作序列管理等核心功能,该层将参数化建模逻辑与界面分离,便于维护和升级。数据层采用关系数据库存储标准件参数表、知识规则和模型文件索引。为提高响应速度,常用标准件的三维模型可在本地缓存,仅参数表和元数据从服务器实时获取。系统对外提供RESTful API接口,支

持与PDM、ERP等企业系统的数据交换。这种分层架构既保证了核心逻辑的统一管理,又兼顾了终端用户的交互体验,且便于后续向Web端扩展^[3]。

3.2 开发流程与工具链

标准件库的开发遵循“选型—建模—参数化—封装—验证”的标准化流程。首先选定目标CAD平台,本文以SolidWorks为例,配套使用C#语言及SolidWorks API进行二次开发。建模阶段,在SolidWorks中创建基准模型,所有尺寸和特征均赋予有意义的变量名,草图实现全约束。参数化阶段,通过Excel设计表定义参数组合,或编写API代码实现特征驱动。封装阶段,开发独立的Windows窗体或SolidWorks插件,实现参数输入、模型生成与保存功能。版本管理采用Git进行源代码控制,模型文件存放于PDM系统。验证阶段,对每个标准件系列进行批量化测试,检查不同参数组合下模型是否重生成功、工程图尺寸是否正确标注。建议开发辅助测试工具,能够自动遍历参数矩阵并记录失败案例,便于批量排查问题。

3.3 核心功能实现案例

3.3.1 案例1:通风头参数化设计

通风头是船舶舱室通风系统的重要部件,具有鹅颈式、菌形等多种形式,关键在于进风口直径和高度可调。以鹅颈式通风头为例,首先提取主参数:通风管直径 D 、总高度 H 、头部弯曲角度 θ 。从参数包括法兰厚度 t 、加强筋数量 n 、螺栓孔分布圆半径 R 等,其中 n 由 D 按规则自动确定($D \leq 150$ 时 $n = 4$, $D > 150$ 时 $n = 6$)。开发时,在SolidWorks中建立基准模型,所有尺寸与参数建立关联公式,例如头部弯曲半径 $R_{bend} = 1.5 \times D$ 。插件界面提供参数输入框和实时预览窗口,用户输入 D 和 H 后,系统自动计算其余尺寸并生成模型,同时输出理论重量和通风面积验收数据。验证表明,传统建模约需20分钟,参数化后仅需30秒即可完成不同规格的生成,且模型质量稳定。

3.3.2 案例2:管法兰库的智能选型

管法兰是船舶管路系统中用量最大的标准件,按GB/T9119标准,其规格由公称通径 DN 和公称压力 PN 两个维度决定,组合数量超过200种。传统方法需逐一建模或从库中逐个查找,效率较低。本文实现智能选型方案:首先建立法兰参数二维矩阵表(DN 为行、 PN 为列),单元格内存储对应的法兰外径 D 、螺栓孔中心圆直径 K 、螺栓孔数量 n 等参数。用户界面提供 DN 和 PN 的下拉选择,选定后系统自动调取完整几何参数并生成模型。为进一步提升体验,增加了选型引导功能:用户输入设计压力

和设计温度后,系统依据GB/T9124自动推荐最低适用的PN等级,并可选配密封面形式(全平面、突面、榫槽面)。该法兰库还支持批量生成BOM表,直接导出至管路设计系统,大幅减少了重复录入工作。

3.4 标准化验证方法

验证内容包括几何正确性、参数关联正确性和规范符合性三个方面。几何正确性验证采用尺寸测量比对,将参数化生成的模型与标准图纸中的尺寸逐一核对,重点关注主参数尺寸误差、从参数跟随变化是否准确以及特征相对位置是否正确。参数关联正确性验证通过边界值与参数组合测试进行,例如输入参数的极大值和极小值,检查模型是否仍能成功重生,是否存在特征交叉或悬空等异常。规范符合性验证则需对照国标、行标及船级社规范,检查材料标注、公差要求、焊接符号等是否齐全无误。建议建立自动验证脚本库,每次修改后自动运行核心验证用例,实现回归测试。标准件库应设立版本发布流程,经设计主管签字确认后方可上线使用,确保数据的权威性。

4 应用效果与优势分析

4.1 设计效率提升

参数化标准件库显著提升了设计效率。以某中型船厂为例,选取水密门、矩形窗、直梯、通风头四类标准件进行对比测试:传统手工建模单件平均耗时分别为35、20、15、20分钟,而采用参数化库后,输入参数到模型生成仅需2-3分钟,且二维工程图同步生成,综合效率提升约85%。在批量调用场景下优势更突出——某散货船项目使用标准件约120件次,传统方式需45工时,参数化库仅需6工时,且无需重复校对图纸。效率的提升使设计师能将更多精力投入区域布置、人机工程等创造性工作中,设计质量也随之改善。

4.2 标准化程度提高

标准件库的建立有效提升了企业标准化水平。首先,参数化库强制执行统一的建模规范,所有模型采用相同的草图约束策略、特征命名规则和坐标系定义,消

除了因个人习惯造成的模型差异。其次,标准件规格范围得到明确界定,设计人员只能在有效参数范围内选型,避免随意选用非标或过时规格,有利于降低采购与库存成本。第三,参数化库与工程图模板联动,二维图纸的视图布局、标注样式、标题栏信息均保持一致,提升了成套图纸的专业性与可读性。

4.3 协同设计能力增强

参数化标准件库为多专业协同设计提供了数据基础,传统模式下,各专业各自建模,模型文件分散存储,规格参数调整难以同步,导致上下游数据不一致。参数化库通过集中管理参数表和共享模型文件,实现了“一处修改、全局更新”。例如某型水密门密封条标准更新时,只需修改基准模型,所有历史项目的调用模型均获提示更新,避免逐一修改的繁琐。同时,标准件库可输出结构化BOM数据,供PDM进行物料清单管理、ERP进行采购计划编制,打通设计到生产的数字链路,促进跨部门信息共享与协作。

结束语

参数化设计技术为船舶舾装标准件库的建设提供了有效解决方案。本文从需求分析出发,系统阐述了参数化建模、知识工程融合、数据库架构及接口集成等关键技术,给出了完整的实现路径与应用案例。应用实践证明,参数化标准件库可显著提升设计效率、强化标准化管理并促进协同设计能力。未来应进一步拓展覆盖范围至电气托架、管系支架等复杂舾装件,探索基于AI的参数智能推荐,并推动行业统一的参数化接口标准建设,助力船舶行业向智能设计与数字化制造深度转型。

参考文献

- [1]曹先锋,张园园,白杨,等.船舶与海洋工程一体化设计标准部件库建设[J].船舶标准化工程师,2022,55(3):6-11.
- [2]张智.知识工程在船舶结构优化设计中的应用[J].船舶物资与市场,2025,33(5):1-3.
- [3]岑爱,侯欢,方鹏,等.绿色理念下船舶机舱铁舾件生产设计的可持续发展[J].船舶物资与市场,2025,33(11):56-58.