



船闸工程金属结构模块设计 BIM 技术应用

颜红亮，周 坤，李鸿忠

(广西交通设计集团有限公司，广西 南宁 530011)

摘要：传统的船闸工程金属结构研发设计方法存在周期长、质量控制难等不足，在一定程度上制约了其行业水平发展。融合 BIM 技术、参数化技术和数据库技术，实现了船闸工程金属结构模块设计。作为模块设计的核心功能，参数化驱动设计、三维-二维关联设计功能是对船闸工程金属结构设计技术的革新，完善了船闸金属结构设计技术体系，大幅提高了设计成果质量和工作效率。基于知识工程和专家系统的船闸金属结构设计数据库贯穿船闸工程金属结构的全生命周期，具有资源共享、继承性强等特点，对推动知识流动和技术创新平台具有重要的作用和意义。

关键词：BIM(建筑信息模型)；船闸工程；金属结构；模块化设计；数据库

中图分类号：U 641.2

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2021)08-0163-06

BIM technology application in metal structure module design of ship lock engineering

YAN Hong-liang, ZHOU Kun, LI Hong-zhong

(Guangxi Communications Design Group Co., Ltd., Nanning 530011, China)

Abstract: The traditional research and design method in the metal structure of ship lock engineering has the disadvantages of long period and difficult quality control, which restricts the development of the industry level to a certain extent. BIM technology, parametric technology, and database technology are integrated to realize the design in the metal structure module of ship lock engineering. As the core function of module design, parametric drive design, and 3D-2D correlation design function are the innovation of metal structure design technology of ship lock engineering, which improves the technical system of ship lock metal structure design, and greatly improves the quality of design results and work efficiency. The database of ship lock metal structure design based on knowledge engineering and the expert system runs through the whole life cycle of ship lock engineering metal structure. It has the characteristics of resource sharing and strong inheritance, which plays an important role and significance in promoting knowledge flow and technology innovation platforms.

Keywords: BIM (building information modeling); ship lock engineering; metal structure; modularization design; database

随着 BIM 技术的不断发展，并逐渐与船闸工程结合紧密，BIM 技术成为船闸全寿命周期核心技术^[1]。船闸金属结构模块化设计理念在设计工作的不同阶段发挥了巨大作用，对提升设计成果质量和工作效率、推动行业发展具有非常重要的意义^[2-3]。在 BIM 技术基础上，运用系统工程理念，实现了基于 BIM+ 理论的船闸工程建设新模式

已成为现代工程建设的发展模式^[4]。在 BIM 技术中引入人工智能的知识工程、推理技术、检索技术等来解决设计中的建模、推理、搜索等问题，也取得不少成果^[5]。

船闸工程金属结构的研发成本高、需用户定制、尺度大、生产批量小、设计制造周期长、质量控制难等特点，在一定程度上制约了其行业水

平的发展。这个情况致使工程技术人员难以集中精力研究新的设计理论和方法、探索新的材料和工艺，提升设计效率、提高设计质量、缩短设计制造周期也随之比较困难。

为改善此局面，将 BIM 技术、模块化设计技术和数据库技术融合为一体，可以有效实现船闸金属结构模块化设计。BIM 技术应用可大幅提高船闸工程金属结构设计成果质量和工作效率，促进其通用性和互换性，推进其标准化、系列化和技术创新。

1 船闸金属结构设计要求及 BIM 功能符合性

模块化是在对同一类别产品进行合理分析规划后，形成由系列化的通用模块组装而成的产品族。模块化是现代标准化的核心和前沿，是标准化原理在信息时代应用上的发展。船闸金属结构具有特征尺寸易参数化、系列化及结构部件典型通用、宜装配组合等特点，适合模块化设计。

BIM 技术的参数化驱动设计、三维-二维关联设计是实现船闸金属结构设计模块化的必经途径。通过 BIM 技术可有效实现船闸金属结构在全生命周期内物理、功能特性的数字化表达，为项目全生命周期内的各种决策提供信息支持；可有效创建和利用工程项目数据并在全生命周期内进行设计、施工和运营维护；可使用模型内的信息支持工程项目全生命周期业务流程的组织和控制。由此 BIM 技术可规范船闸工程不同设计阶段信息模型应用，并提高应用效率^[6-7]。

2 船闸金属结构 BIM 技术应用系统

船闸工程的信息模型应分为项目级信息模型、单体级信息模型、专业级信息模型、构件与设备级信息模型和零件级信息模型共 5 个层级。信息模型的数据交换架构分为资源层、核心层、交互层、领域层共 4 个层级。资源层为信息模型中被重复引用的最基础对象，主要包括船闸金属结构总体设计需要的所有基础数据和要求。核心层为核心框架和核心扩展对象，主要包括船闸金属结

构的构件和设备信息模型、零件信息模型，如启闭机、闸阀门等。交互层为与其他工程领域所共用的对象，主要为船闸金属结构、水工结构装配及碰撞检测。领域层为所特有的数据对象，船闸工程金属结构隶属通航建筑物工程。船闸工程金属结构 BIM 技术应用系统见图 1。

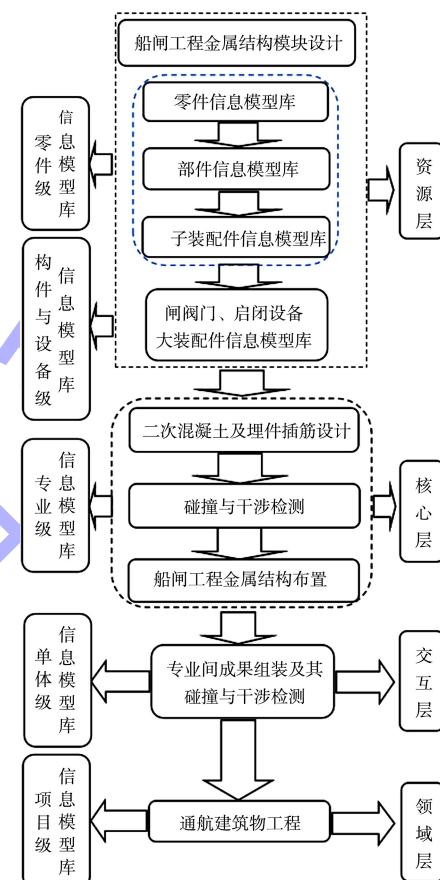


图 1 船闸金属结构 BIM 技术应用系统

3 BIM 技术对船闸工程金属结构的模块化设计

3.1 模块化设计流程

船闸工程金属结构模块化遵循由上而下的整体思路：模块解析—模块划分—模块设计—模块集成。以模块设计为核心，主要形成完整的船闸工程金属结构设计数据库，包括闸阀门数据库、附属设施数据库、启闭设备数据库和零部件数据库等。

整个船闸金属结构参数化设计流程遵循自上而下、参数关联的设计原则，即：由船闸工程的总体布置和船闸金属结构的布置确定启闭机、闸阀门的类型；由水位和孔口尺寸确定各类闸阀门

的长宽等关键尺寸; 由闸阀门的荷载和边界条件、总体尺寸等进行闸门结构计算和结构设计, 并确定启闭设备等主要参数和型号; 经由金属结构三维详细设计, 赋予每个零部件属性信息; 通过三维投影工程制图等方法形成参数关联的闸阀门及其埋件工程图集、附属设施工程图集和启闭机工程图集; 最后形成工程量统计, 并对接下个专业。船闸金属结构参数化设计流程见图 2。

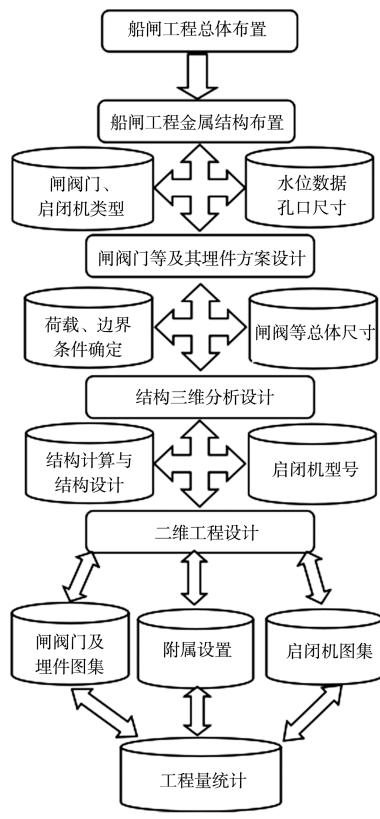


图 2 船闸金属结构参数化设计流程

3.2 模块解析与划分

船闸工程金属结构模块解析是以资源层为基础展开模块化数据库基本单元划分, 由此确定每个模块化设计要求、应具有独立功能和输入、输出的构件设备及零件的组成要素。

从多个角度综合考虑, 模块化划分遵循一般性的原则: 1)统一分类和编码原则; 2)功能独立原则; 3)结构独立原则; 4)部件原则; 5)粒度适中原则; 6)易于装配和拆卸的原则。

经过对船闸工程金属结构模块解析和划分, 船闸工程金属结构主要分为工作闸门、检修闸门、

工作阀门、检修阀门、附属设施(如拦污栅系、浮式系船柱、防撞警戒装置等)、启闭设备。见图 3。

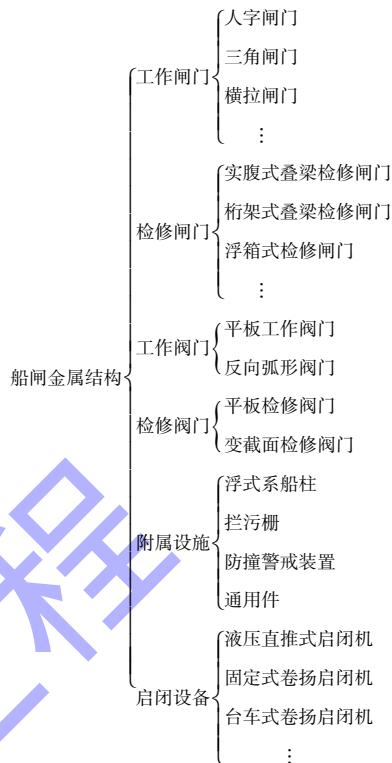


图 3 船闸金属结构类型

以船闸工程金属结构人字门系统的底枢装置为例, 其模块母子集系统关系见表 1~6: 船闸金属结构模块—人字门系统—人字门门叶总装—人字门埋件总装—底枢装置。

表 1 船闸金属结构总装模块(单体级信息模型)

名称	类型	集成方式
金属结构	准通用	组装
关联水工结构	专用	组装

表 2 船闸金属结构模块(专业级信息模型)

名称	类型	集成方式
人字门系统	准通用	组装
检修闸门系统	准通用	组装
工作阀门系统	准通用	组装
检修阀门系统	准通用	组装
拦污栅系统	通用	组装
浮式系船柱系统	通用	组装
液压启闭机系统	通用	组装
门机系统	准通用	组装

表 3 人字门系统子模块(闸阀门构件级信息模型)

名称	类型	集成方式
人字门门叶总装	准通用	销轴、螺栓、焊接
人字门埋件总装	准通用	螺栓、焊接

表 4 人字门门叶系统模块(闸阀门构件级信息模型)

名称	类型	集成方式
人字门门叶总装	准通用	销轴、螺栓、焊接
门叶结构	准通用	焊接
止水装置	准通用	螺栓
背拉杆	通用	焊接
钢护舷	通用	焊接
爬梯	通用	焊接
导卡	通用	螺栓
支垫	通用	螺栓
限位梁	通用	焊接
人行桥	准通用	焊接

表 5 人字门埋件系统模块(埋件构件级信息模型)

名称	类型	集成方式
人字门埋件总装	准通用	螺栓、焊接
顶枢装置	通用	销轴
底枢装置	通用	螺栓
缓冲装置	通用	螺栓
防撞系统	通用	焊接
锁锭底座	通用	销轴
底槛	准通用	螺栓

表 6 底枢装置子模块(基本构件-零件级信息模型)

名称	类型	集成方式
底枢装置总装	准通用	螺栓
顶盖	准通用	螺栓
球瓦	通用	螺栓
蘑菇头	通用	螺栓
封盖板	准通用	螺栓
垫板	通用	螺栓
底座	准通用	螺栓
调整螺杆	通用	螺栓
调整螺杆套筒	通用	螺栓
异型橡皮	通用	螺栓
螺塞	通用	螺栓
橡胶垫圈	通用	螺栓
螺栓螺母标准件	通用	螺栓

3.3 模块设计

在船闸工程金属结构模块划分的基础上,对不同模块按照不同水头、不同口门逐步进行标准化和系列化设计,通过不同模块的特征尺寸模数化、结构典型化、部件通用化、参数系列化等具体需求细

化和深化相关内容,形成了船闸金属结构专业标准体系,逐步建立了模块化设计的基础。

零部件标准库是船闸工程金属结构数据库的必要基础。基于 BIM 技术的船闸工程金属结构设计建立了项目所需要的各种基础零配件库和标准件 26 个类别约 3 000 多个零件,包括:紧固件库(包含螺栓、螺母、平垫圈、弹簧垫圈的各种系列)、型钢库、各种闸阀门及其埋件等等,每个零件、构件和设备、专业和项目信息模型都有自己的类别、编码和信息数据。

设计阶段信息模型编码由项目级编码和模型内容编码两部分组成;项目级编码由“项目代码”+“水运工程子领域”+“水运工程项目阶段”组成,“项目代码”一般采用工程立项时所批复的编号表示;模型内容编码由“水运工程单体”+“水运工程专业”+“水运工程构件与设备”+“水运工程零件”等组成,在单体级信息模型、专业级信息模型、构件与设备级信息模型和零件级信息模型层级中体现。信息模型分类和编码可采用全数字表达方式。

组装后的人字门系统见图 4、5。

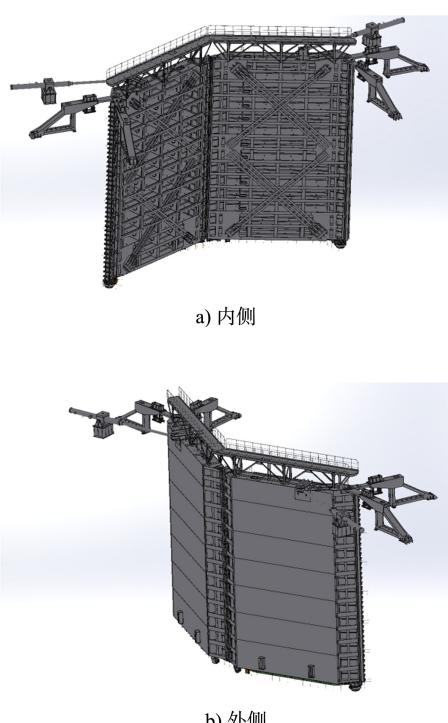


图 4 人字门系统 BIM 模块化设计成果

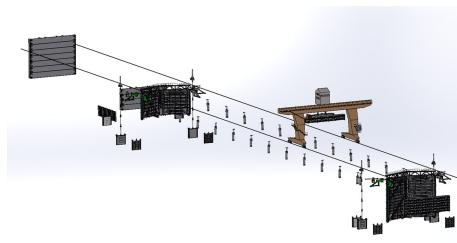


图 5 船闸工程金属结构 BIM 模块化设计成果

BIM 技术提供了全面的船闸金属结构专业设计功能工具, 其参数化设计功能使得整个船闸金属结构设计百分之百可编辑, 并使得船闸金属结构零件设计、装配设计和工程图之间的设计参数全相关。

在船闸金属结构设计的过程中, BIM 技术的参数化功能具有强大的规则引擎(数学、逻辑、数据), 通过常见数学规则、逻辑导入后台, 基于专家系统对核算和设计成果进行评估, 最终成为金属结构参数化设计的内在依据。此外可以根据软件后台输入的数学公式、逻辑等出版计算书。

3.4 模块集成

船闸工程金属结构模块集成为专业外集成和专业内集成。专业外集成主要是根据船闸工程总平布置和轴网图完成总体布置, 实现多专业之间的协同设计, 见图 6。专业内集成需要考虑各模块的功能要求, 重点研究模块的连接, 使各接口协调一致、安全可靠、易于拼装, 保证闸门总体安装的误差在控制范围之内。考虑船闸金属结构的特点及实际功能需求, 集成方式优先采用螺栓连接和焊接, 便于安装和更换。

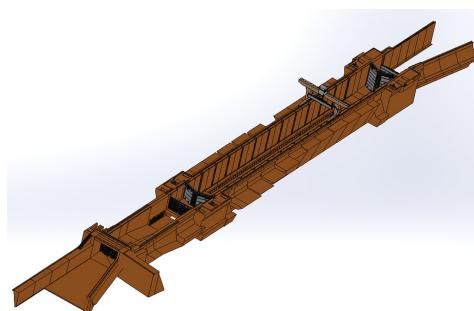


图 6 船闸工程金属结构 BIM 模块集成

4 船闸工程金属结构数据库技术应用

船闸工程金属结构种类繁多、结构复杂, 其模块设计过程中通常会涉及到知识表示、分析推理、实例推理和方案评价等创造设计过程, 因此要实现船闸工程金属结构的计算机辅助模块化设计就需要智能化数据库技术的辅助。

船闸工程金属结构设计是基于知识工程和专家系统技术开发的, 主要体现为知识工程顾问、知识工程专家、产品知识模板、业务流程知识模板、产品功能定义和产品功能优化等, 通过提供方便易用的知识工程环境来创建、访问及应用船闸工程金属结构设计知识库, 在保存船闸工程金属结构设计知识库的同时, 充分利用专家宝贵经验, 采用系统的知识驱动船闸工程金属结构设计。从单个零件到整个闸阀门, 从开发设计到多学科知识有机集成, 将各个专业、部门紧密联系, 实现设计数据信息共享, 更好地推动和支持船闸并行工程设计, 大幅提高协同设计能力。船闸工程金属结构库设计界面见图 7。

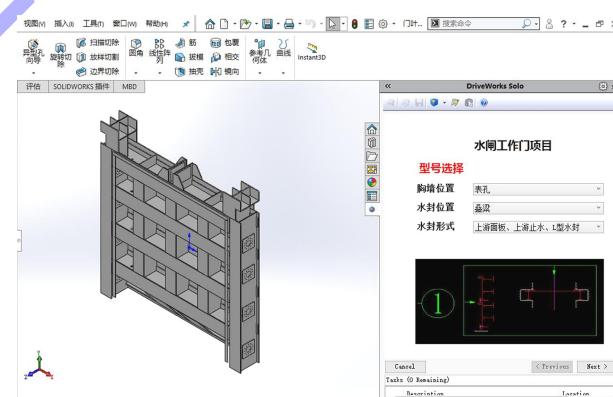


图 7 船闸工程金属结构库设计界面

5 船闸工程金属结构项目应用

广西左江山秀船闸扩能工程是广西第一个采用正向化 BIM 三维设计的船闸工程项目, 并取得了良好的效果。该项目为水运行业应用船闸工程 BIM 技术、进行 BIM 正向化设计提供了借鉴和参考。在该项目中, 金属结构模块的优势得到充分发挥, 金属结构专业设计人员不仅可高效完成专业内的设计, 也可通过协同平台对接其他各个专业高效完成设计。整个项目应用效果见图 8。



图 8 船闸工程金属结构项目应用

6 结语

1) BIM 技术是对传统繁琐复杂的金属结构设计工作的“升级改造”和技术革新，工程技术人员可以解脱出来并集中精力研究和应用船闸金属结构的创新设计、技术更新，符合当前技术发展和进步。

2) BIM 技术的参数化驱动设计、三维-二维关联设计功能是船闸工程金属结构实现模块化设计核心功能。建立的船闸金属结构设计数据库，经知识工程和专家系统反复使用、优化和完善，质量稳定、技术先进、性能可靠。大大提高了船闸金属结构的通用性和互换性，实现了运转件的通用化、标准化、系列化和总成互换。

3) BIM 技术可贯穿船闸工程金属结构的全生命周期，对完善船闸金属结构设计技术体系，提升船闸的设计、制造、运营和维护管理水平，推动知识流动和技术创新平台具有重要的作用和意义。

4) 船闸工程金属结构 BIM 技术应用成果基于知识工程和专家系统，资源共享、易学易用、效果良好，有利于提高船闸金属结构设计技术的传承性。

参考文献：

- [1] 陶书东, 李树海, 刘成鑫, 等. 大型船闸金属结构 BIM 技术的应用[J]. 水运工程, 2018(1): 123-128.
- [2] 陶书东, 张珊, 李树海. 基于模块化理念的船闸金属结构设计[J]. 水运工程, 2011(9): 189-192.
- [3] 童时中. 模块化原理、设计方法及应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [4] 王学锋, 吴鹏程, 赵渊, 等. 基于 BIM+ 理论的船闸工程建设新模式[J]. 水运工程, 2015(12): 123-127.
- [5] 王智明, 杨旭, 平海涛. 知识工程及专家系统[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [6] 代一帆, 董靓. 关于建筑数据表示和交换的标准 IFC[J]. 建筑科学, 2008(8): 9-14.
- [7] 郑璐, 陈龙, 邱南思, 等. BIM 技术在界牌水利枢纽金属结构设计中的应用[J]. 水利规划与设计, 2018(2): 57-61.

(本文编辑 武亚庆)

· 消息 ·

广东汕头东海岸综合管廊项目通过竣工验收

近日，由中交投资有限公司投资建设、中交一航局负责施工的广东省汕头市东海岸新城综合管廊工程顺利通过竣工验收，标志国内首个在围海区建设的城市综合管廊全面建成，正式进入运营阶段。

项目位于汕头市东海岸新城新溪片区及塔岗围片区，全长约 14.5 km，由三纵三横共 6 条综合管廊组成。综合管廊采用三舱结构设计，由电力舱、燃气舱、综合舱组成，同时配套建设 1 个智能监控中心，具备综合调度、应急指挥等功能。

项目正式启用后，将完善地下管廊辐射网布局，为 2021 年亚青会场馆电力等管线铺设提供安全通道，加快推动汕头东海岸新城基础设施配套升级。