

水工金属结构 BIM 技术应用与发展

学术交流会议论文集



中国水利学会水工金属结构专业委员会

中国水力发电工程学会水工金属结构专业委员会 编

前 言

建筑信息模型（Building Information Modeling，简称 BIM）一种应用于工程设计、建造、管理的数据化工具，其核心是通过建立虚拟的建筑工程三维模型，利用数字化技术，为这个模型提供完整的、与实际情况一致的建筑工程信息库。BIM 技术发展至今，已从最早单一的用于工业及民用建筑行业逐渐推广至水利工程。

水工金属结构具有多样性、复杂性、分散性等特点，传统的设计方法设计过程复杂，费时费力，设计更改繁琐，不符合现代设计理念，已经越来越难适应现有工程的需求。通过 BIM 技术可以在模型上准确反映几何信息、专业属性及状态信息，BIM 可以实现三维可视化设计，形象直观，直接取代传统二维设计方式，各专业可以应用 BIM 技术进行碰撞检查，避免错、漏、碰等二维设计容易出现的现象。施工和管理单位也可利用工程模型随时调用数据信息，方便工程的施工、设备安装及运营和维护，实现全生命周期的真正的价值。

本论文集共收到大专院校、科研院所以及水工金属结构设计、施工、制造等 27 家单位科技工作者的论文共计 30 篇，经过同行专家的审阅及简单修改编辑成册，为水工金属结构工程设计人员在今后的设计研究中提供参考。

中国水利学会水工金属结构专业委员会
中国水力发电工程学会水工金属结构专业委员会
2018 年 11 月

目录

前言	1
目录	3
CATIA 在水工金属结构设计中的应用	1
基于 CATIA 平台的水电工程金属结构 BIM 技术研究与应用.....	8
BIM 在滇池草海水体置换通道工程中的运用.....	15
BIM 技术在水工金属结构设计中的应用实例及展望	20
BIM 技术在桃源水电站金属结构中的应用	24
基于 BIM 的液压启闭机在线检测系统研究	28
SOLIDWORKS 在水工金属结构 BIM 设计中的应用	34
基于 SOLIDWORKS 二次开发的金属结构参数化研究.....	39
BIM 技术在丰宁抽水蓄能电站固定卷扬式启闭机设计中的研究与应用.....	43
BIM 专用云平台应用研究	47
基于 CATIA 的水工钢闸门骨架关联设计	53
INVENTOR 数字化设计在水工金属结构中的应用	59
BIM 技术在乌东德水电站启闭机设计中的应用	66
BIM 技术在水工金属结构设计中的应用.....	73

BIM 参数化设计在水工平面钢闸门中的应用.....	79
BIM 技术在水工钢闸门设计中的应用	84
BIM 技术在引绰济辽工程稳流连接池设计中的应用	89
水工钢闸门三维参数化设计的理论基础与工程实践	93
BIM 在启闭机研发中的应用——“星联集驱”卷扬启闭机数字样机介绍.....	97
CAD/CAE 技术在钢闸门数字化设计中的实践	101
共享数据的水工金属结构参数化设计	109
BIM 技术在水工金属结构设计中的应用与展望	113
水利工程平面闸门及启闭机 BIM 应用初探	116
带润滑油通路的筒支轮参数化设计	122
BIM 技术在船闸项目中的运用	126
浅谈基于 BIM 的水工金属结构在线监测技术研究.....	129
冷涂锌在水利水电金属结构防腐蚀领域的应用	133
水工金属结构防腐面积计算公式.....	138
水利工程专用食品级润滑脂的研发及应用	146

CATIA 在水工金属结构设计中的应用

王可, 李月伟, 王蒂, 王启行

(长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北武汉 430010)

摘要: 本文简述了多年来基于 CATIA V5 及 3DEXPERIENCE 软件的三维设计思路及成果, 从骨架建模、知识工程及参数化建模、模型的再使用等方面介绍了在水工金属结构设计中的一些经验总结和体会。

关键词: CATIA; 骨架建模; 知识工程; 模型的再使用

1 引言

BIM 的英文全称是 Building Information Modeling, 国内较为一致的中文翻译为: 建筑信息模型。该技术 2002 年正式被提出, 2004 年引入国内开始应用, 是继 CAD 技术后建筑、制造行业又一重要技术, 近几年发展比较快。国家对 BIM 技术高度重视并加以引导, 住建部在《2011-2015 年建筑业信息化发展纲要》中, BIM 技术被列为重要的推广应用技术。对于机械制造类的行业领域, 提及更多的是 PLM, 即产品生命周期管理 (Product Lifecycle Management, PLM)。无论是 BIM 还是 PLM, 三维设计都是起始和基础。

长江设计公司于 2008 年引入 Dassault System 公司的 CATIA V5 作为三维设计平台, 经过专业机构组织的相关培训, 大部分设计人员已可熟练使用 CATIA V5 三维设计软件进行相关设计工作。自 2016 年起, 长江设计公司正逐步将三维设计平台更新至 Dassault System 公司的 3DEXPERIENCE。设计人员在使用 CATIA 进行三维设计时, 逐渐从最初的“二维设计三维翻模”过渡到“正向设计”。

2 大型结构件骨架建模

2.1 水工金属结构中的大型结构件

水工金属结构涉及通航功能的闸门、船厢等结构尺度一般均较大。这类大型结构件主要为船闸闸首工作闸门, 如: 人字闸门、三角闸门; 船闸闸首检修门, 如: 实腹式叠梁门、桁架式叠梁门、浮式检修门等; 升船机承船厢、升船机闸首工作门等。

长江设计公司承担了一些大型通航建筑物的设计, 航槽宽度 34m, 三峡水运新通道更是达到了 40m, 各闸门尺度较大, 单扇的重量也较大; 升船机承船厢, 长度均在 120m 以上, 宽度也在 20m 左右, 主纵梁的高度也接近 10m, 整个承船厢结构重量动辄超过 2000t; 升船机下闸首下沉式工作闸门由于带有通航用卧倒小门, 且为适应下游水位变率快的特点, 需带压调整门位, 整扇闸门的重量都在 600t 以上。上述各类大型结构件尺度大、重量大, 载荷工况较多, 梁系布置较为复杂, 且其上安装有满足运行所需的众多设备, 在三维设计过程中属于结构设计的重点和难点。

2.2 骨架建模

骨架建模是一种自顶向下的建模方式 (图 1), 与之相对应的是自底向上的装配式建模 (图 2)。前者适合大尺度、梁系布置较为复杂的大型结构件建模, 后者适用于各部件有明确装配关系的机械类装置的建模。

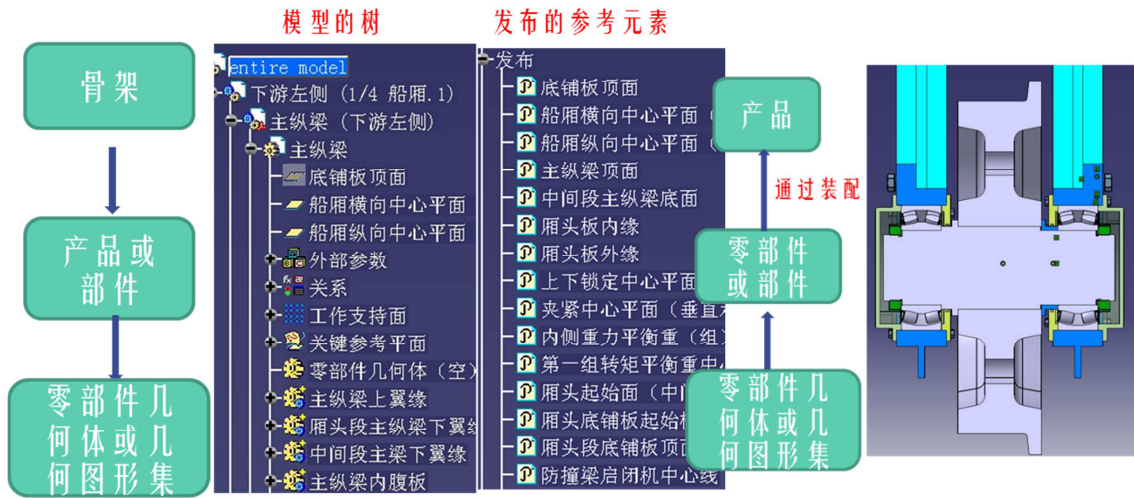


图 1 自顶向下的骨架式建模图 2 自底向上的装配式建模

2.3 骨架建模应用举例

亭子口升船机布置在嘉陵江亭子口水利枢纽的右岸，位于表孔泄洪坝段和右岸非溢流坝段之间，由上游引航道、上闸首、船厢室段、下闸首和下游引航道几部分组成。升船机采用钢丝绳卷扬全平衡垂直提升型式，过船规模 $2 \times 500\text{t}$ 级，属大型升船机，最大提升高度 85.4m ，船厢有效水域 $116.0 \times 12.0 \times 2.5\text{m}$ （长 $\times$ 宽 $\times$ 水深），船厢结构、设备及厢内水体总重约 6250t 。船厢结构作为升船机的重要组成部分，所占升船机主体设备造价的比重相当之大，且结构工程量也相当之大，亭子口升船机船厢的结构重量达到了 1500t 。由于船厢结构是关系到整个升船机安全正常运行的重要构件，且整个船厢结构尺寸巨大， $128\text{m} \times 18\text{m} \times 9\text{m}$ （长 $\times$ 宽 $\times$ 高）；十分有必要对结构进行三维建模以便观察船厢各板件梁系的布置是否合理，各设备布置空间是否足够，并利用实体模型对船厢在不同工况下的复杂受力情况进行分析，对船厢结构的强度及变形进行校核。由于船厢结构组成部件较多，零部件 130 余个，为方便建模及符合读图的逻辑关系，在船厢结构模型下，分部件建模，所有部件共用一个原点。这属于一种自顶向下式的建模方法，此方法适用于：不同组件之间有明确的主次关系的产品。在软件中这种方法体现为：先建立整个结构的骨架，其主要为一些重要的定位线、平面，然后在模型树的结点上分别建立不同的产品或部件，最后在这些部件中建立零部件几何体或几何图形集。为方便定位及对模型进行整体控制，发布一些重要的控制参考面作为参考元素。模型的建模方法、树的结点及参考元素如图 1 所示，升船机船厢结构的整体及船厢头局部模型如图 3 和图 4 所示。

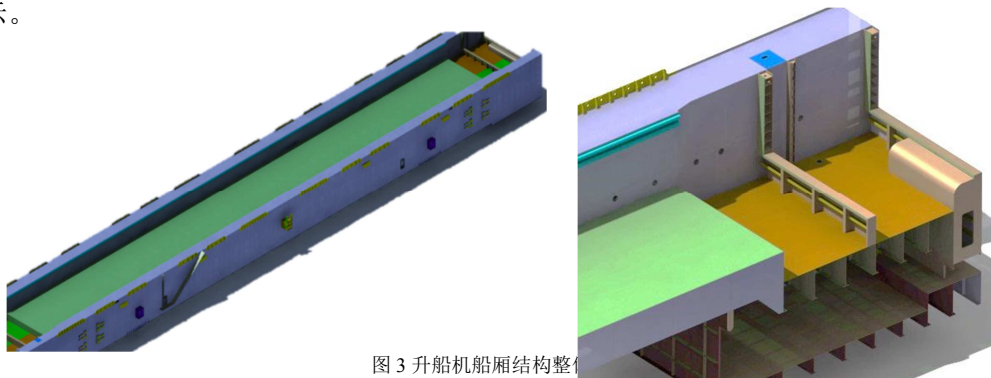


图 3 升船机船厢结构整体

大型船闸人字闸门，如正在规划的三峡水运新通道船闸人字闸门，闸室宽度达到 40m ，单扇人字门宽度达到 24m ，门叶高度接近 40m ，人字门结构复杂，结构组成部件较多，主要有：主横梁、小梁、斜街柱、门轴柱、推力隔板等，且其上安装的设备也较多，人字闸门在三维正向设计中尤其适合采用骨架式建模的方式。人字门的结构树主要内容如图 5 所示，三铰拱及门体结构平面控制草图如图 6 所示，人字门全关挡水状态如图 7 所示，人字门启闭机及顶枢局部如图 8 所示。

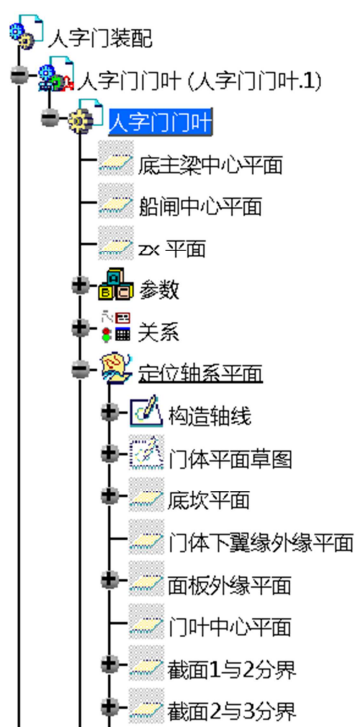


图 5 人字门结构树

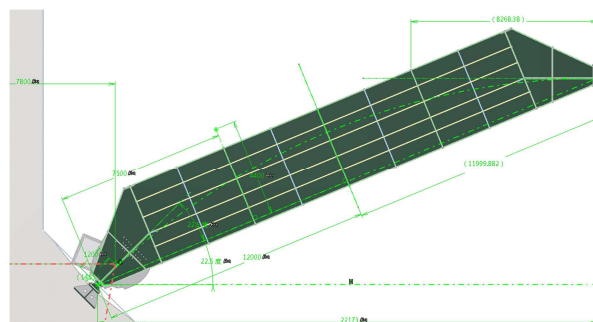


图 6 三铰拱及门体结构平面控制草图

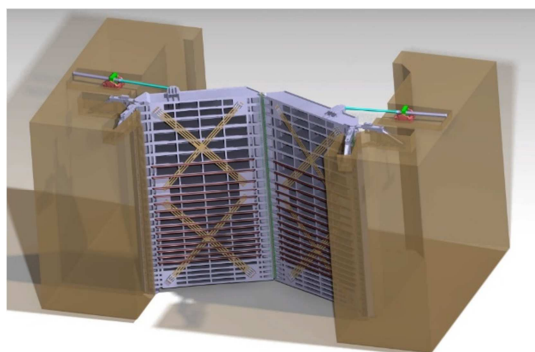
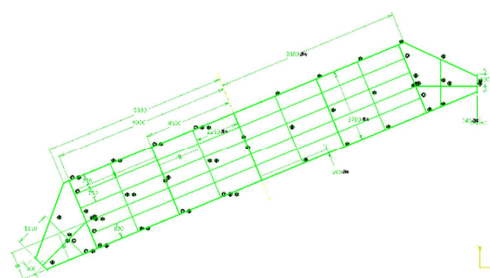


图 7 人字门全关挡水状态

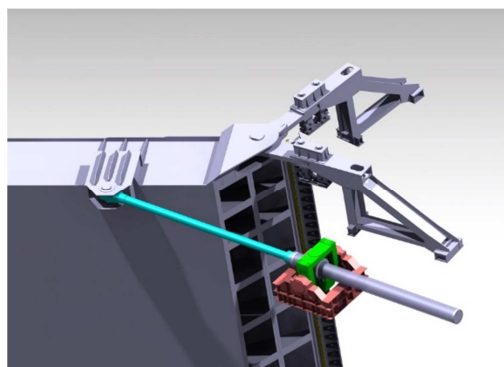


图 8 人字门启闭机及顶枢局部

3 知识工程及参数化快速建模

3.1 知识工程的梳理

通过组织经验丰富的设计人员对常用的水工金属结构形式进行总结归纳，以经典的平面钢闸门为例得到组成得到典型的平面钢闸门的结构树，如图 9 所示，同时整理出用于建立模型骨架所必备的上游（引用）参数，如图 10 所示。

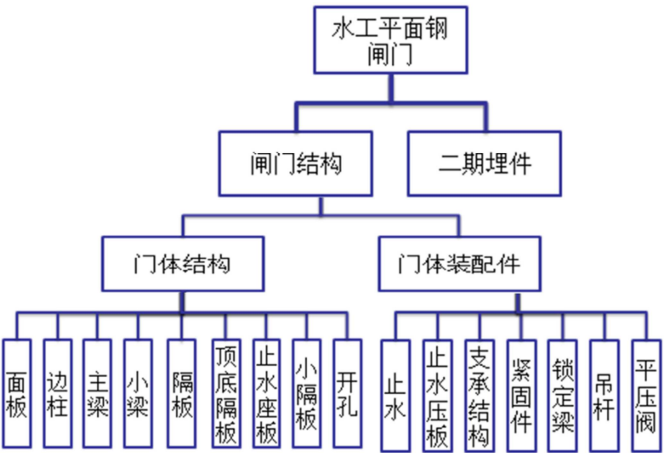


图 9 典型的平面钢闸门结构树

	A	B	C	D
5	边柱上缘厚度	20	小梁型号	工字钢25b
6	边柱上缘宽度	300	吊耳吊板数量	2
7	边柱腹板间距	500	吊耳吊孔直径	125
8	边柱腹板厚度	20	吊耳吊板厚度	20
9	边柱腹板高度	668	吊耳加强板厚度	10
10	边柱下缘厚度	20	隔板间距	1400
11	边柱下缘宽度	300	隔板腹板厚度	14
12	边柱下翼缘偏距	50	隔板下缘宽度	200
13	主梁第一根距底	500	隔板下缘厚度	20
14	主梁截面形状	工	止水带顶止水	TRUE
15	主梁变截面	TRUE	止水截面形状	P
16	主梁上缘宽度	150	止水跨度	8140
17	主梁上缘厚度	20	止水高度	5030
18	主梁腹板高度	1048	止水底止水高度	125
19	主梁腹板厚度	20	支承间距	8500
20	主梁腹板间距	1100		

图 10 必备参数

3.2 建立计算模块

使用软件的知识工程和规则管理功能,并通过使用使用 VISUAL BASIC 编程语言的宏运用及使用 C++ 编程语言的 CAA 进行必要的二次开发,建立计算模块工具,通过信息传输接口链接 MATHCAD 工程计算软件及 EXCEL 数据表格,实现数据计算与三维建模交互进行。通过 CAA 二次开发的内置在 CATIA V5 软件内部的计算模块工具,如图 11、图 12 所示。

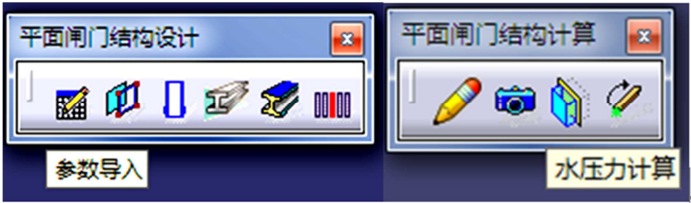


图 11 计算模块内置工具插件

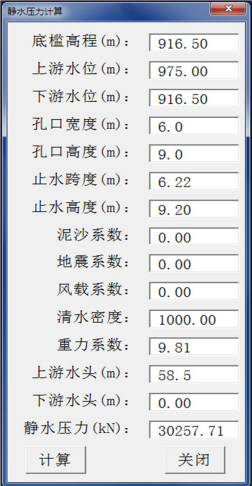


图 12 计算模块内置计算界面

3.3 模板库的建立

这里所说的模板库是通过归纳总结等手段,对知识工程进行梳理,建立的包括用户定义特征(UDF)、超级副本(Power-copy)以及参数化模型。其中经过总结后建立的用户定义特征(UDF)对于大型结构件建模大有裨益,可有效地提高建模的效率、减少出错的几率以及使模型的结构树更加简洁有条理。部分加载在 3de 软件下的模型库如图 13 所示,已归纳总结的模板文件目录如图 14 所示。

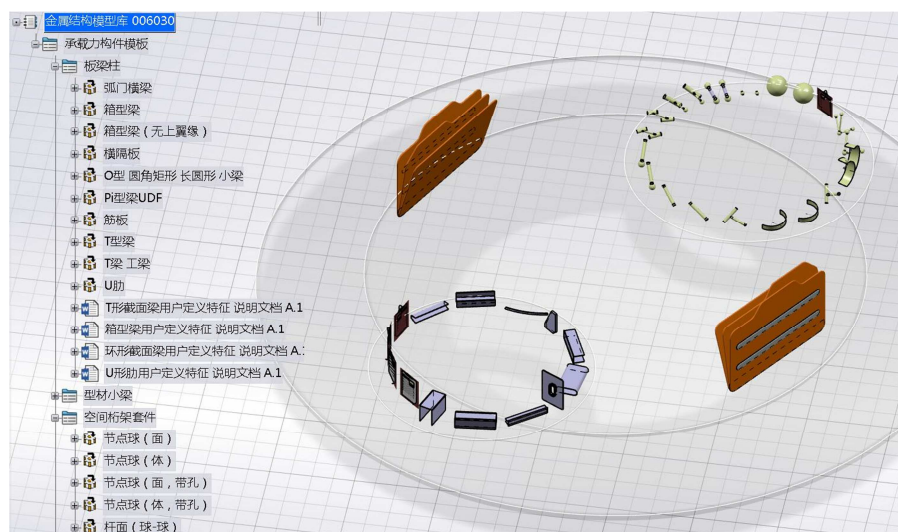


图 13 部分加载在 3de 软件下的模型库



图 14 已归纳总结的模板文件目录

4 模型的再使用

4.1 用于设计校核

若采用以往的二维设计方法对具有空间复杂结构的船厢进行设计，往往不够直观，且由于船厢结构的复杂性，其内部设备繁多，结构梁系间以及结构与设备间极易因设计的疏忽而发生干涉。这些设计特点将花费设计、校核人员大量的时间进行检查调整。采用 CATIA 进行三维设计后，整个船厢结构极为直观，且可通过各种碰撞干涉检查工具对结构进行检测，可以快速的找出干涉，并进行修改。

4.2 用于管线、交通通道布置

在船厢等大型结构件中布置有大量的液压、电气、充泄水、补排水管线，这些管线多为空间走向，采用 CAITA 的 GSD 模块，建立管路等走向曲线，可快速的布置管路和交通通道，且可将这些走向输出成轮廓并发布，便于其他配合专业进行相应的管道及走道结构的设计。例如，在具有复杂梁系结构的船厢头结构部分建立充泄水管路的空间走向曲线，再利用 GSD 模块下的“扫掠”、“多截面曲面”、“桥接曲面”、“修

剪”等命令，生成管道的曲面模型。如图 15 所示。

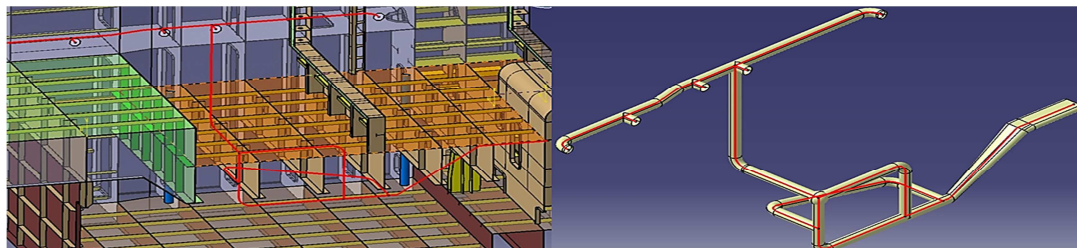


图 15 充泄水管路布置

4.3 用于工程量的统计

通过使用测量工具，可以快速地测量出零部件几何体、零件、装配件、产品的体积、面积、质量、型心、重心等几何物理量，精确地统计船厢结构的重量对控制主提升机的提升力、减少调整平衡重的工程量都可起到积极作用，从而可以控制工程投资。

4.4 用于工程仿真分析

配合通用有限元分析软件如 Abaqus、ANSYS 等，将建立好的结构模型以需要的形式导入，如：面、体，这些在正向设计建立模型是均已考虑。节省大量的前处理建模时间。根据不同的载荷工况可对结构静强度及模态进行分析，在分析结果的基础上，可再次对结构进行优化设计，在保证设计安全可靠，且满足功能功用的前提下减少结构重量。以三峡新通道人字门为例，在建模初期便考虑了将个板件采用“面”建立骨架，采用“厚曲面”命令生成实体，将以“面”建立的模型导入 ANSYS，对人字门结构进行了有限元分析。

如图 16 所示。

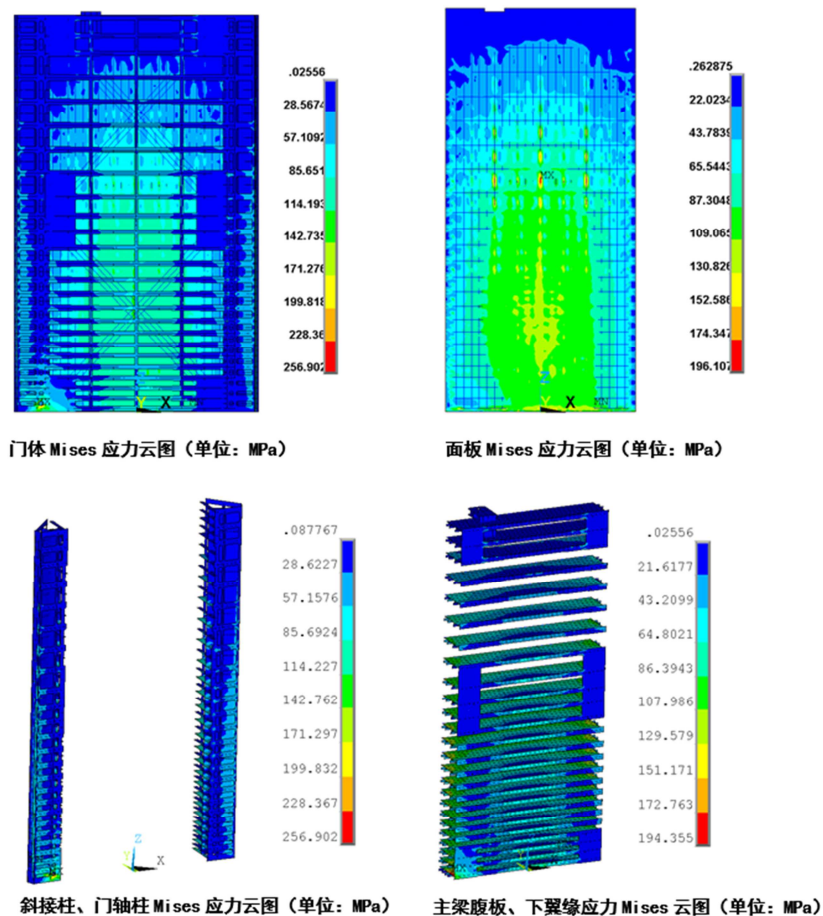


图 16 人字门有限元计算主要结果云图

4.5 用于施工图的绘制

通过使用 CATIA 工程图模块，可快速的生成产品或零部件的工程图，可在 CATIA 工程图模块中完成全部的工程图绘制，也可将未标注的工程图另存为 dwg 格式在二维 CAD 软件中修改完善。其中由工程图模块生成的工程图与实体模型是相关联的，当实体模型发生改变后，相应的工程图也会做出改变，便于设计人员对设计成果进行修改。

4.6 用于数字化产品手册

通过配合使用 Dassault System 公司的 3d via composer 软件，可以将 CATIA 生成的装配或零部件或将 3DEXPERIENCE 软件中的装配导出成 3dxml 文件，进行数字化产品手册的制作，也可生成交互式的工程图，跳出传统二维工程图的禁锢，使产品的展示变得更加直观和方便。

5 结语

经过近 10 年的摸索与使用，设计人员基本掌握了 CATIA V5 软件的建模操作，总结了一套适合于自身设计实情的建模思路。采用知识工程的概念，梳理了以往的设计成果，建立并丰富完善了常用的模板库。通过 CAA 等手段对软件进行了二次开发，编制了一些可提高设计效率的计算插件。CATIA 软件的使用，可有效地提高设计校核效率、快速准确地统计工程量，可用于工程仿真分析而避免重复建模，可方便地用于二维施工图绘制并生成直观的数字化产品手册。经过近 10 年的使用，设计人员的思路也逐步由“翻模展示”转变为“正向设计”，目前正逐步将三维设计软件由 CATIA V5 过渡为 3DEXPERIENCE，将开展多专业间的协同设计。

基于 Catia 平台的水电工程金属结构 BIM 技术研究与应用

赵春龙¹, 王正中^{2*}, 朱增兵¹, 廖永平¹, 李岗¹, 邹今春¹

(1. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 西安 710065; 2. 西北农林科技大学旱区寒区水工程安全研究中心, 陕西杨凌 712100)

摘要: 水电水利工程中金属结构设备分散且多样, 工程参与主体和信息量较多, 可借助 BIM 技术实现设备在各阶段、多地点的高效信息数据管理。本文阐述了基于 catia 平台下进行金属结构 BIM 技术的相关探索研究和应用, 结合实际工程, 分析了设备资源库建设, 软件二次开发、工程图表达方式、数字化移交和 BIM 深化应用。从设计制造、安装运维全过程角度进行了总结和展望, 试图探索金结设备管理新模式。

关键词: 金属结构; BIM 技术; catia 平台; 二次开发; 数字化移交

1 引言

BIM 技术自概念出现至今已近二十年, 从最早应用于单一的建筑行业逐渐推广应用于水电水利工程、地上或地下轨道交通、航空机械电子等众多专业领域; 主要为工程规划、设计、施工、运维等阶段提供全生命周期三维数字信息和模型, 支持数据跨专业间共享和协同作业, 并具有可视化、数字化、集约化的优点, 一个模型不同数据信息, 可以减少设计和施工等各个环节的失误, 提升管理和生产效率^[1]。

水电水利工程中金结专业各类设备作为工程后期主要运维对象, 具有多样性、活动性、复杂性、分散性等特点, 工程参与主体(业主、设计、制造、监造、安装等)所接触的设备全过程(设计、移交、运维)信息资源量大造成设备管理难度大, 管理效率低下。BIM 在水电工程金属结构的工程应用逐年增多, 解决了设备三维建模, 二维出图, 三维有限元计算的问题。例如文献^[2]基于三维平台的二次开发, 提出了平面钢闸门三维数字化建模、计算分析、二维工程图集成应用方式。相关设计人员利用参数化建模功能实现了钢闸门模型的工程分析和优化^[3-4]。也有设计者^[5-6]利用 BIM 技术在水电工程卷扬式启闭机以及大型船闸设计和优化计算方面进行了探索应用。

目前国内外三维设计平台众多, Catia 是法国达索公司为产品及工程设计提供的一种交互式 CAD/CAE/CAM 系统, 支持从项目前阶段、具体的设计、分析、模拟、组装到维护在内的全部工业设计流程。其特有的 DMU 电子样机模块功能及混合建模技术奠定了其在 PDM/PLM 领域内的领导地位, 也为水电工程金属结构 BIM 应用提供了强大的技术支撑。

2 金属结构三维基础资源库建设

2.1 三维模型资源库建设规划

2.1.1 模型组织结构

三维模型是 BIM 模型的基本载体, 也是设计阶段主要解决的内容。一般水电工程涉及专业较多, 项目数据组织层次是否合理清晰直接影响到三维设计任务的顺利完成。首先应对项目的组成结构进行分析, 结合专业特点进行装配式文件树管理, 理清模型层次, 进行模型组织规划。设计节点数据在 ENOVIA VPM 电子仓库中的存储模式有“呈示式结构”和“呈示式发布”两种。其中呈示式结构模式保存的文档, 在 VPM Navigator 结构树下能展开内部结构, 并能与外部元素关联。呈示式发布模式保存的文档, 在结构树下不能呈现内部结构, 故不能与外部元素关联。依据工程项目类别、设计阶段、专业层级和分部分项工程的关系, 建立了金属结构专业设备的模型组织结构。



图 1. 模型组织结构

作者简介: 赵春龙(1988—), 男, 陕西安康人, 工程师, 从事水工金属结构设计, E-mail:11035@nwh.cn。

2.1.2. 专业模板分级

金结专业启闭机设备在工程上相对独立，但模板同样具有明确的层级关系，模板库各级间关系清楚明朗。根据金结专业模型组织结构和施工设计出图需求，按照功能、标准化设计程度，将金属结构专业闸门和启闭机设备模板划分为四级。一、二、三级模板中所涉及文件具有一定典型性、通用性、规范性，差异性不大、复用程度高的模板。对于规划、投标、可研阶段可以快速重现或搭建设计方案，也为各级方案的种类扩充与模板组合提供了资源平台。

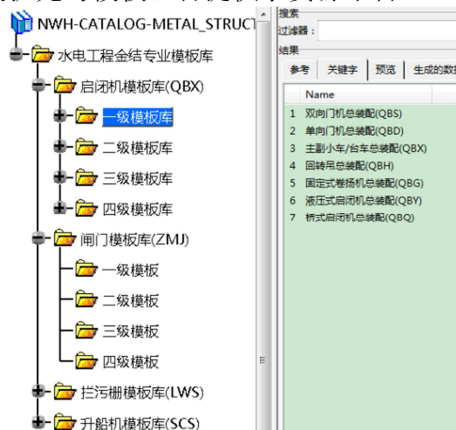


图 2. 专业模板分级

图 3. 模板入库及调用流程

2.1.3 模板入库及调用

库是 CATIA 中的一种专家知识支持功能，用于存贮和分类批量特征对象，并提供相关信息的查询和调用。模板入库应按照一定流程，模板入库前应对模板文件进行规则校审。模板应附带以下文件提交检验：三维模型文件，模板说明书，工程图文件，对于一、二、三级模板还应包括方案说明或设计大纲、以及计算书。合规模板文件应满足前文所述命名规则，参数化程度，对外参考定位元素，中间设计过程，材料及配色，材料用量等属性定义等。catia 特征类模板和文档类模板调用前可阅读模板说明书，了解模板功能、适用性、参数、输入条件等。按照模板说明书要求相应建立输入条件，调用的模板目录及相应条目。

2.2 钢闸门及拦污栅模板库

按闸门结构形式可分为平面闸门、弧形闸门以及船闸上常采用的人字闸门等。按闸门所在孔口位置可分为露顶闸门和潜孔闸门。按闸门功能又可分为工作闸门、事故闸门、检修闸门和施工闸门等。

由于闸门形式众多，总结各类钢闸门结构特点，对闸门各部件进行分类，分析门叶及埋件的结构和构造规律，将复杂整体门叶结构层次化、模块化、构件化，提炼出具有通用性的各级骨架和构件模板和特征设计参数，利用 CATIA 三维设计平台，将闸门单节各个构件和骨架进行参数化建模，建立第四级底层模板库，并采用数据库进行数据管理应用。调用单节门叶骨架和基础构件模板，以搭积木方式快速完成单节门叶建模。并提出基于产品系列化理念的平面钢闸门施工图模板库建设，建立平面钢闸门单节门叶系列化三维参数化模型库，利用知识工程融入设计者的经验，并定制相应二维施工图纸，通过系列化参数模板快速装配搭建和完成整套平面钢闸门施工阶段设计。建立包括主轨、副塞、反轨、底坎、侧护板、门楣、二期混凝土等零件在内的门槽零件三维模型。推广应用后逐渐丰富各类型钢闸门一级模板库，最终实现全部钢闸门类型的系列化、参数化。

弧形闸门按门顶以上水位的深度分为露顶式和潜孔式，按支臂形式分为直支臂和斜支臂弧门，其主要由门叶和支臂、支铰结构组成，部分底层模板与平面钢闸门相同，骨架模板较平面钢闸门更为复杂，引入较多角度参数，尤其斜支臂弧门对总装精度要求较高。拦污栅较闸门形式相对简单，但模板建设思路相同。

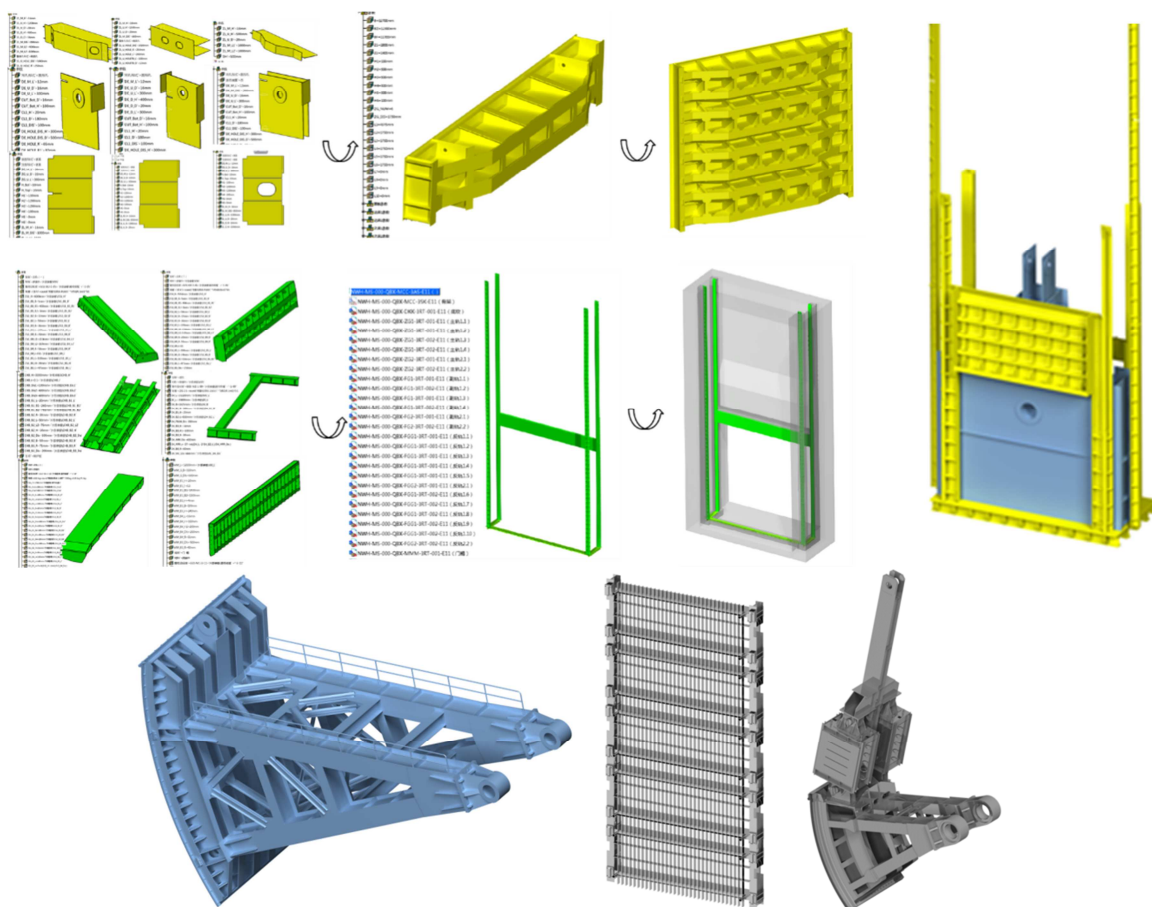
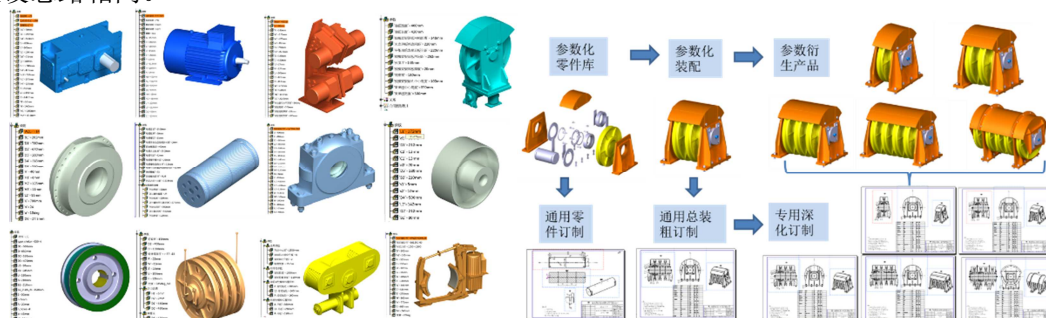


图 4. 钢闸门及拦污栅模板建设过程

2.3 启闭机设备模板库

启闭机主要固定式卷扬机、台车式启闭机、桥式启闭机、单向或双向门式启闭机、独立回转吊、液压启闭机等。启闭机主要包含起升、行走、回转、液压等机构，以及主体车架和门架结构，整体属于非标产品设计，而其中很多系列化标准产品主要从外购件厂家直接采购，例如电动机、减速器、制动器等。由于不同品牌产品样本参数有一定差别，这类零件库可从厂家获得，但通用性较差，不具有参数化驱动能力，不利于方案优化。根据不同品牌系列主要安装和外形参数建立产品参数化模板，并形成参数化设计表系列和产品数据库，通过统一数据进行管理。产品参数更新时只需对设计表数据进行更新即可。结构件模板与闸门模板建设思路相同。



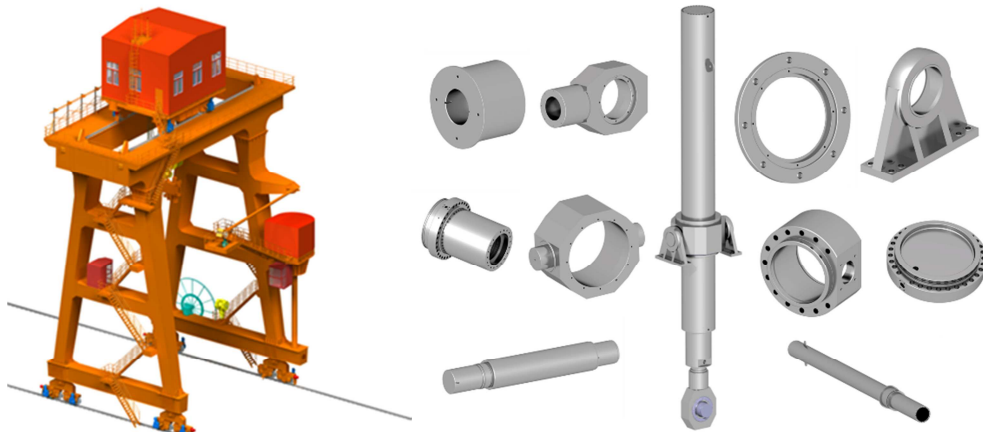


图 5.启闭机系统各级模板库建设

3 三维数字化设计及图纸表达

3.1 Catia 金属结构出图工具开发

在应用国外软件进行三维设计中,遇到了一些功能不能完全满足应用需要,一些功能不符合中国制图标准,或部分功能的使用效率不高等问题^[8]。由于达索公司已经停止了 CATIA V5R21 进行二次开发方面的技术支持,这些功能只能由用户自己进行二次开发来满足三维设计需要。并重点对材料表统计、件号标注、中心线投影、焊缝标注参数输入、隐藏线选择性输出、视图拼接、板件放样等功能进行专业化定制。

3.1.1 材料表定制与自动统计功能

金属结构专业内容主要含有机械零件和钢结构件,机械零件又分为标准产品和订制产品,钢结构件又分为型钢及焊接组合构件。不同零件类别建模规则不同,对材料表自动统计功能开发带来较大难度。

1) 针对结构类(板类零件)图纸,以各板件对应的几何体外形尺寸为名称,统计各零件数量、单件重量、总重量,形成材料表。

2) 针对装配类及非板类零件图纸,以零件属性(字符串)为零件名称,统计各零件数量、单件重量、总重量,形成材料表。零件支持后续修改,三维模型修改后,材料表可自动更新。

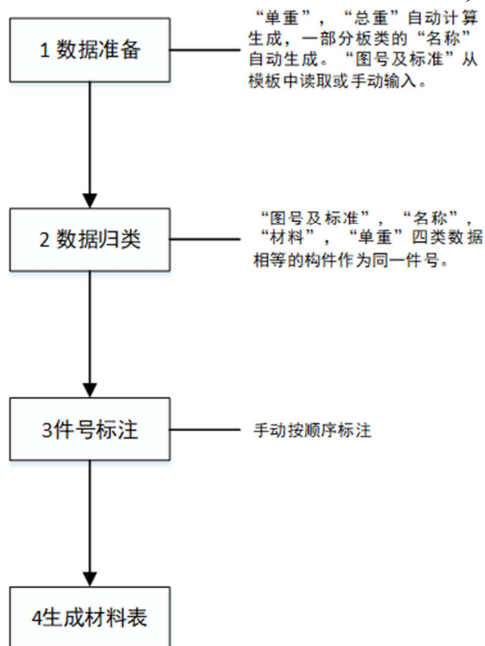


图 6.生成材料表开发流程

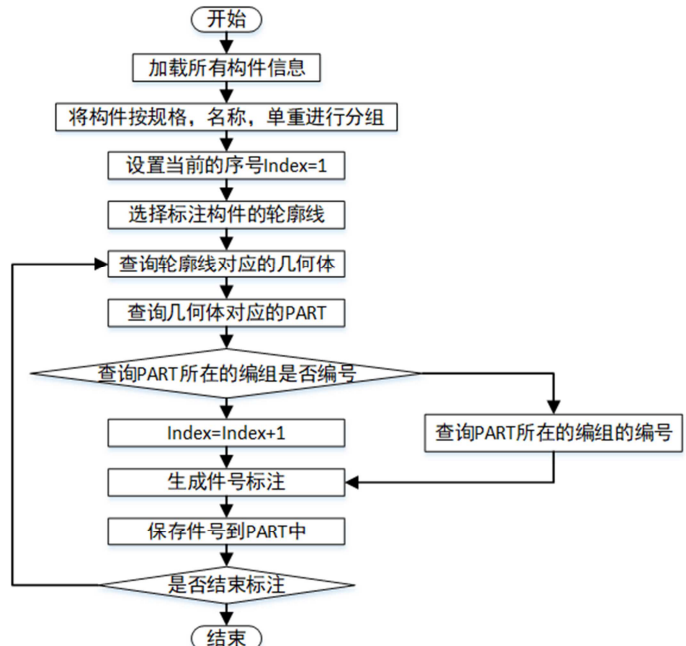


图 7.标注件号功能开发流程

3.1.2 件号的生成与标注

件号在工程图与材料表中需要一一对应。件号一般在工程图中通过人工手段在合适的位置选择构件进行标注,通过程序自动标注确定标注的构件与件号标注的位置是不太现实的。程序中件号的顺序主要依据人工的手段来编排,同时编号的顺序号记录在三维模型中。件号标注的流程图如图 7 所示。

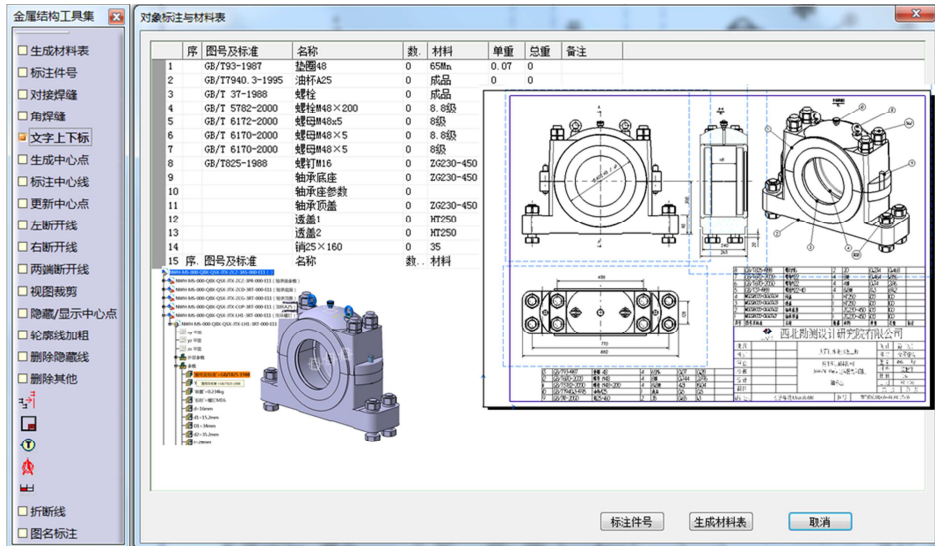
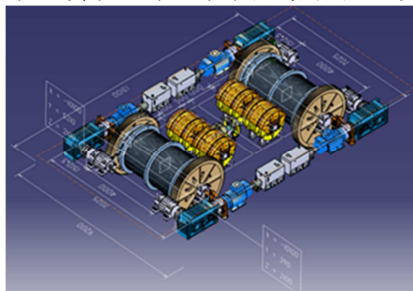


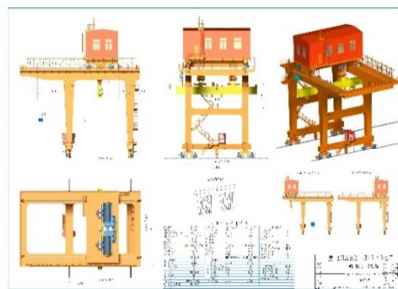
图 8 材料表自动生成及件号标注

3.2 不同阶段图纸表达

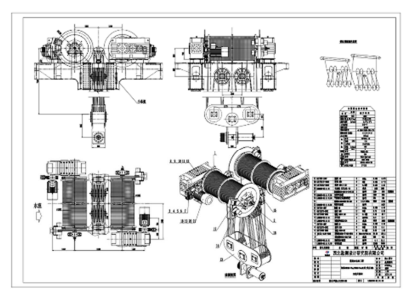
在三维资源库和出图工具不断完善的前提下,下一步工作就是进行工程图纸表达,向工程参与各方进行信息传递和交流。由于不同设计阶段对模型数据完整性和颗粒度(即精细化程度)要求不一,工程图纸表达方式也不尽相同。由于 BIM 信息模型具有高度可视化和信息化、目前还没有形成标准的表达方式。可研阶段和招标设计阶段为工程布置进行设备空间占位及功能描述,对于金结设备而言该阶段图纸信息量较少,表达方式相对多样,可以进行空间三维标注(图 9.a)和模型三视图标注方式(图 9.b)。施工图阶段图纸表达为制造和安装提供直观信息数据,当下水电工程金属结构设备自动化制造水平还不够普及的情况下,传统二维工程图纸依然是主要的表达方式(图 9.c)。



a. 模型三维标注



b. 模型三视图表达
图 9. 图纸表达方式



c. 二维工程图

4 BIM 技术的深化应用

4.1 人机工程及动画仿真

人机工程学是一门多学科的交叉学科,研究的核心问题是不同的作业中人、机器及环境三者间的协调,目的是指导工作器具、工作方式和工作环境的设计和改造,使得作业在效率、安全、健康、舒适等几个方面的特性得以提高。金结专业各类设备与常规产品一样都具有人机交互特性,为方便运维人员操作使用、检修维护,利用人机工程进行操作通道引导,安全操作培训手册和检修维护提示,设计方将该类数据一并移交运营单位。同时,通过人机工程模拟可以对设计方案进行虚拟体验和优化,使产品设计更符合实际需求。

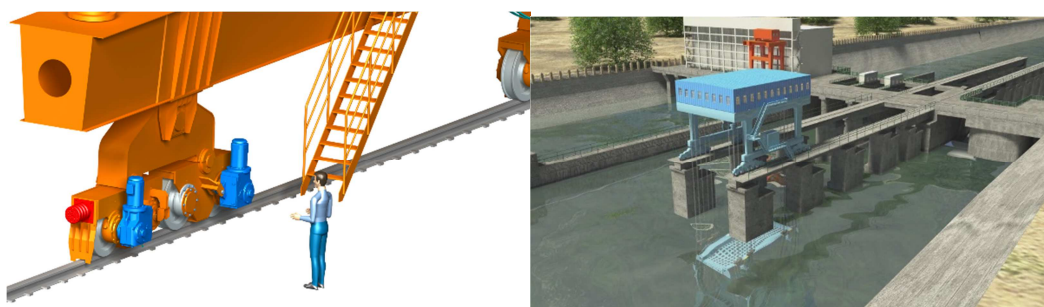


图 10.人机工程及动画仿真

4.2 专业协同与碰撞检查

Catia 以 VPM 为数据管理和协同设计平台,项目立项后,对各专业人员分配节点权限和不同设计角色。各专业成果在同一空间下同时进行,项目进度能够实时把握。通过碰撞检查,可以非常直观的将不同专业间不统一的位置、冲突的位置显示出来。可即时对设计方案查漏补缺,减少专业反复协调工作,在工程前期就能够大大减少错误出现的概率,为工程质量提供有力保障。

4.3 CAD/CAE/CAM 一体化应用

由于 BIM 信息化接口标准还没有健全完善,目前应用三维设计大多停留在设计建模和出图阶段,模型信息后续价值常被忽略,金属结构及设备以 CAD 平台为 BIM 信息载体,可形成主要信息源头并可进行深度挖掘和应用。对生产组织管理、自动化加工焊接、产品质量检测、信息化安装方面提供附加价值。

水利水电金属结构设备尤其是启闭机各机构运行工况复杂,设计过程中需要考虑不同荷载组合下门机结构的静、动力学及抗倾覆稳定特性^[9-10], CAD/CAE 一体化技术可让设计进一步了解结构真实运行状态。利用三维设计已有的,基于实体零件建立的 CAD 模型并进行后续有限元分析即 CAE 模拟时,需将实体模型转换为曲面模型,再划分成四边形或三角形板壳单元进行有限元分析。由于钢闸门与启闭机等主结构多为焊接构件或通过螺栓进行零件装配,组成的钢板之间通过不同焊缝和螺栓连接,建立的几何模型中各零件体之间拓扑关系应与实际连接工艺一致。按照 CAD/CAE 模型参数转换思路,可以对大多数钢板焊接件进行高效快速建模和有限元网格划分,将实体模型转为曲面模型,大大减少了计算机求解自由度的数量,节省计算成本;可以更多地反映实际设计结构细节,提高了计算的精度;CAD/CAE 模型关联,可以实时为三维设计产品提供仿真环境,提高了产品的安全性和可靠性。

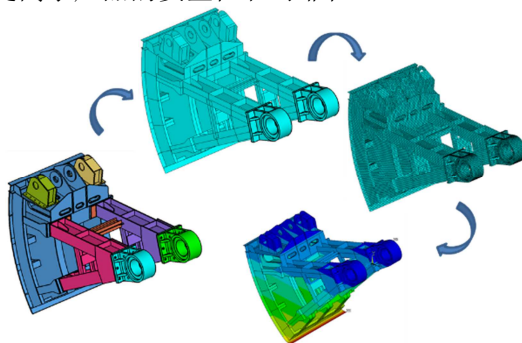


图 11. CAD/CAE 数据转化

4.4 设备管理及数字化移交

金结设备数字化移交主要解决以下问题:

- 1.以三维专业协同设计并集成 CAD/CAE/CAM 环境,完成各阶段金结设备设计、分析、制造和资源管理,并形成金结各类设备、相关装配部件、产品的基础信息资源库。
- 2.基于三维在线可视化交互技术的金结设备数据信息文档交付平台,支持设计资料,包括二维图纸、三维设备模型、制造安装过程等信息在线查看浏览,以及面向设备的参建各方的在线信息沟通,技术交底,工期跟踪等^[11]。
- 3.探索基于二维码识别技术和互联网+技术的金结移动设备管理模式,解决设备在制造生产、出厂检验、运输安装、调试运营各阶段、多地点的跟踪管理、设备身份识别易混乱的问题。
- 4.基于在线监测系统和人机工程学虚拟运维系统的金结设备运维安全决策平台,支持工程各部位金结设备的实时监测、虚拟操作培训、运行操作警示和安全报警等,提升业主在金结设备优化管理、安全运行、

巡视检修方面的可视化、智能化水平。

最终可形成水利水电工程金结专业设备数字化全过程管理平台,提升金结设备全生命周期数字化管理能力和管理效率,并对水利水电工程安全运行提供智能化决策依据。结合依托工程项目推广应用,探索金结设备管理新模式。

5 结论及展望

通过在实际工程不断深化应用,BIM 技术可以充分发挥设计源头信息富集优势,结合制造、安装、运营实际情况,在金属结构专业设计的不同阶段分别利用三维数字化模型,完成碰撞检测、虚拟装配、人机交互仿真、工程量统计、效果图渲染,工程图定制表达、辅助计算分析。同时注重考虑产品全生命周期的应用和需求,整合各类信息资源,打造满足各种用户和用户的各个阶段需求的应用模式,持续优化供给,改善服务,共同提升价值。

参考文献

- [1] 刘泽群,刘铭劫.浅析 BIM 技术国内外研究现状[J].第十五届全国现代结构工程学术研讨会.2015,增刊:1659-1662.
- [2] 邹今春,郭天佑,李岗,等.平面钢闸门三维数字化设计综合应用研究[J].制造业自动化.2017,39(11):141-144.
- [3] 王蒂,李月伟,胡一亮.基于 CATIA 参数化钢闸门模型的工程分析与优化[J].人民长江.2016,47(1):56-58.
- [4] 陈靖芯,徐晶,陆国民,等.基于 catia 的三维参数化建模方法及其应用[J].机械设计.2003,20(8):48-50.
- [5] 祁林攀,赵大海,赵春龙,等.基于 CATIA 的卷扬式启闭机三维设计探索与实践[J].西北水电.2017(05):87-90.
- [6] 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.2018,1:123-127.
- [7] 李强,李谧,冉丽利.catia 文档模板在水工闸门设计中的应用[J].水电站设计.2015,31(1):5-9.
- [8] 魏群,魏鲁双,孙凯.BIM 技术在平板钢闸门三维设计软件研发中的应用[J].华北水利水电学院学报.2013,34(3):5-8.
- [9] 祁林攀,辛勇军,赵春龙,等.基于 ANSYS 的悬臂式双向门机结构有限元分析[J].制造业自动化[J].2017,39(5):84-88.
- [10] 赵春龙,杜永,南洪,等.坝顶双向门式启闭机结构三维有限元分析[J].西北水电.2016(04):67-73.
- [11] 郑辙,陈龙,邸南思,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.

收稿日期:

作者简介:赵春龙(1988—),男,陕西安康人,工程师,从事水工金属结构设计,E-mail:11035@nwh.cn。

联系方式:029-88290561,地址:陕西省雁塔区丈八东路18号,710065

BIM 在滇池草海水体置换通道工程中的运用

吴德新, 李斌

(昆明勘测设计研究院有限公司, 昆明 650051)

摘要:介绍了 BIM 及参数化设计的概念和特点。针对金属结构设备对布置紧凑、科学合理的要求, 以滇池草海水体置换通道工程金属结构设备设计为对象, 采用 Inventor 的参数化设计功能对金属结构设备进行设计, 实现了金属结构设备和土建结构的 BIM 构件与展示。运用结果表明, 采用 BIM 设计提高了工程师的设计效率, 充分体现了 BIM 的在金属结构设计中的运用价值。

关键词:BIM; Inventor; 金属结构; 蓝藻收集

1 引言

BIM 的全称为“建筑信息模型(Building Information Modeling)”, 是一种应用于工程设计建造管理的数据化工具, 可通过参数模型整合工程的各种相关信息, 在工程的策划、设计、建设、运行和维护等全生命周期过程中进行共享和传递, 具有较好的可视化、协调性、模拟性以及可全方位优化等特点^[1]。BIM 的应用解决了传统二维设计技术模式下信息沟通与传递存在的诸如信息表述复杂、协同设计困难、数据传输能力差、图纸联动性差导致高出错率等问题, 具有提高设计协同效率、共享设计资源和最大限度避免重复劳动等的优势^[2]。本文以滇池草海水体置换通道工程为依托, 探讨利用 BIM 技术对金属结构进行设计、并在市政工程中的运用, 以期作为该技术应用于同类型工程设计的参考。

2 工程简介

“滇池清, 昆明兴”。滇池是昆明生命线, 是昆明人民的母亲湖。草海片区是昆明的城市客厅, 是展现昆明良好城市形象的重要窗口和载体, 草海水质明显改善和片区品质明显提升是本阶段滇池治理的一大工作重点。面对草海目前存在大堤防洪隐患、部分区域蓝藻爆发堆积、堤岸景观亟待提升等问题, 市委市政府要求昆明院以除险加固、蓝藻收集、堤面改造为目的, 开展草海大堤加固提升及水体置换通道建设工程。建设项目由大堤加固工程、水体置换通道工程和项目景观建设三部分组成, 水体置换运行由金属结构设备承担。水体置换工程机电设备涉各型闸门及启闭机、启闭机供电设备、启闭机控制设备、视频监控设备等。具体布置为: 在船房河入湖口处修建翻板闸门, 截住船房河现有回补中水, 通过顺河右岸埋设 0.6m 钢管道, 将中水引入至新修建的 1#旋流井内。在永昌湿地外围布置 4 个蓝藻收集旋流井, 旋流井设计为三面收藻形式, 每个旋流井设闸门 8 扇, 单扇闸门孔口尺寸 1.2m×1.0m。旋流井之间用预制钢筋混凝土管连接, 管径 2.5m, 底坡 0.15%, 最终连接至大堤 1#单面升降闸门收集井。沿整个草海大堤布设 20 个单面升降闸门收集井, 每个收集井设 1 扇升降闸门, 闸门孔口尺寸 8.0m×0.8m, 两个单面升降闸门收集井之间用预制钢筋混凝土管连接, 管径 2.5m, 管道按 0.15%的坡降沿草海大堤沿线布置, 最终汇入至 20#闸门。蓝藻水华外排系统采用“溢流堰+单孔闸门”的收集方式, 采用管道输送, 将收集到的草海表层水华水体, 通过从 20#闸门井~集污井的沉管, 自流至滇池外海北部水体置换通道提升改造工程中尾水 11#集污井内, 通过西园隧洞口处的尾水泵站, 排放至西园隧洞, 一併排入下游处置后经沙河进入螳螂川。

3 BIM 建模技术应用

BIM 技术具有可视化、协调性、模拟性、优化性和可出图性等特点。可视化即模型三维的立体实物图形可视, 项目设计、建造、运营等整个建设过程可视, 方便设计沟通、修改、决策; 协调性体现在各专业的信息出现“不兼容”现象, 如排污管道与闸门井冲突, 预留洞口尺寸不对等情况。使用 BIM 有效协调流程进行协调综合, 减少变更; 模拟性包括施工进度的模拟、4D(发展时间上)的模拟等^[3], 优化性即通过 BIM 技术对方案模型进行深入分析后, 进行优化, 降低工程造价; 可出图性即根据建立的模型建立与模型参数关联的设计图纸。

3.1 金属结构设备布置建模

本工程属于市政工程，工期紧，工程设计和施工同时进行，设计变更是在所难免的，因此引入 BIM 技术，建立参数化的结构模型。结构建模是建立金结各结构、相关土建模型的实体模型并进行总装，以形成工程整体结构模型。结构建模在结构设计后进行，在设计初期对闸门的主要构件进行计算，此时闸门结构的主要尺寸已经确定，将这些尺寸在 Inventor 中进行参数化输入作为结构建模的主要参数^[4]。



图 1 闸门参数输入窗口

根据水工结构布置和蓝藻收集的要求，设置 20 孔 20 扇升降闸门，孔口尺寸为 8.0m×0.8m（净宽×净高），设计水头取 0.94m，滑块支承，采用 2×40kN /10kN（上顶力/下拉力）的液压启闭机操作。闸门的操作方式为动水启闭，门顶过流。为了满足景观要求，加上原大堤上存在一系列无法移动的管线，提供给升降闸门和液压启闭机的布置空间非常有限且布置分散无规律，机电设备、土建结构、以及原有管线之间容易产生干涉。设计中建立了土建模型和原有管线作为设计的边界条件，对土建结构纵横梁之间的空间加以利用，对金属结构设备进行合理布置，单孔升降闸门的布置如图 2 所示。

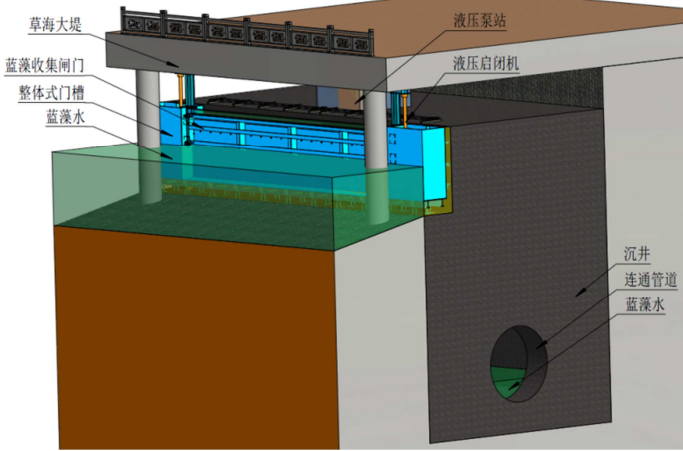


图 2 升降闸门金属结构设备布置（单个井）

根据水体置换的总体布置要求，西坝河~永昌湿地段采用收集井收集蓝藻，采用叠梁门作为收集井进口的控制闸门。船房河口~永昌湿地段收集井设计成三面蓝藻收集井型式，共设置四座。每座收集井的面湖心侧设置 4 孔，左右两侧各设置 2 孔，四座共设 32 孔。该段蓝藻收集井金属结构设备包括叠梁门及其埋件。考虑到叠梁闸门运行的灵活性，单节叠梁高 10cm，采用人工操作，根据放入门槽内叠梁的节数来调节蓝藻的收集水深。

在 20#井出口设一扇工作闸门，用于收集井的污水回流时，动水闭门截断水流。该闸门没有平压条件，因此其操作条件为动水启闭。当工作闸门上游水位低于下游水位时，闸门反向挡水。采用液压启闭机操作。工作闸门孔口尺寸为 2.5m×2.5m，设计水头 8.24m，采用定轮支承，闸门上游设有双 P 形水封。闸门门叶结构和门槽结构采用不锈钢板焊接制造。闸门的具体工作方式：正常工作时，工作闸门处于孔口上方。当收集井内的污水回流时，可以远方/现地控制工作闸门关闭挡水。闸门开启时，采用动水启门。

根据水体置换的总体布置，单座旋流井的布置如图 3 所示。

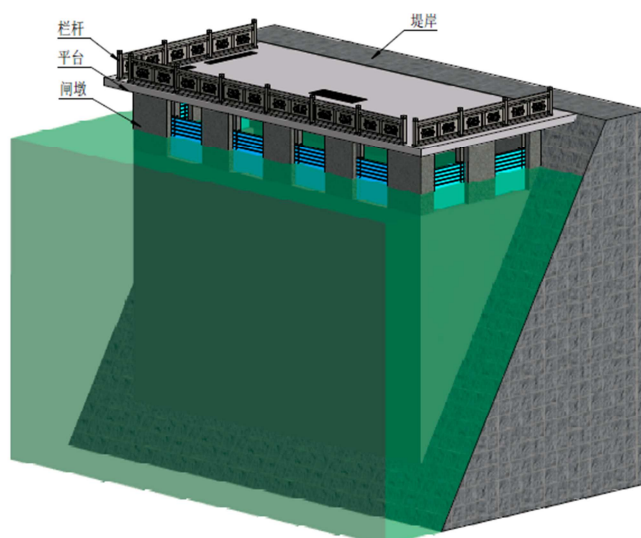
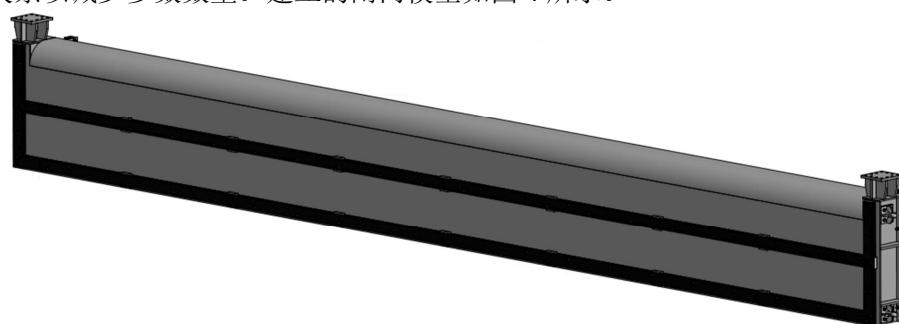


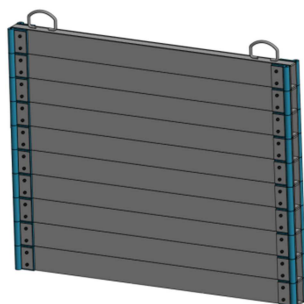
图3 旋流井金属结构设备布置（单个井）

3.2 金属结构设备结构建模

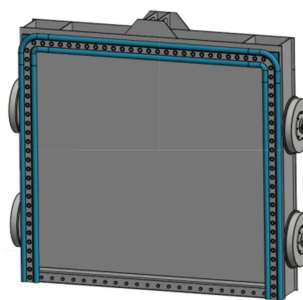
该工程的闸门形式比较简单，包括面板、主梁、次梁、变量、主支承机构、导向结构、止水结构等。每一个构件模型都严格按照设计尺寸进行参数化建立，建模精度精确到 0.01 毫米。构件的全部细节也按照实际进行建模，以满足构件建模的真实性、完整性及与其他构件的相关关系，各零件的材质属性根据实际进行设置。将设置了信息的各个构件模型按照实际连接方式进行拼装，即构成工程整体模型的雏形，如图 3 和图 4 所示。模型总装过程中，尤其要注意各部件之间的空间关系，包括焊接、螺栓连接等，装配时尽量采用位置对齐关系以减少参数数量。建立的闸门模型如图 4 所示。



(1) 升降闸门



(2) 旋流井闸门



(3) 20#井出口工作闸门

图4 闸门模型总装

3.3 设计成果输出

成果输出包括工程图纸输出、明细表输出、展示效果输出等，是展示工程设计理念和设计结果的重要途径，集中体现了设计能力，可为工程的建设、运营和维护提供依据。工程图纸输出是 BIM 设计的重要目标，Inventor 强大的参数化建模功能可以实现“一处参数修改，模型、图纸处处更新”，所建立的升降闸门工程图如图 5 所示。

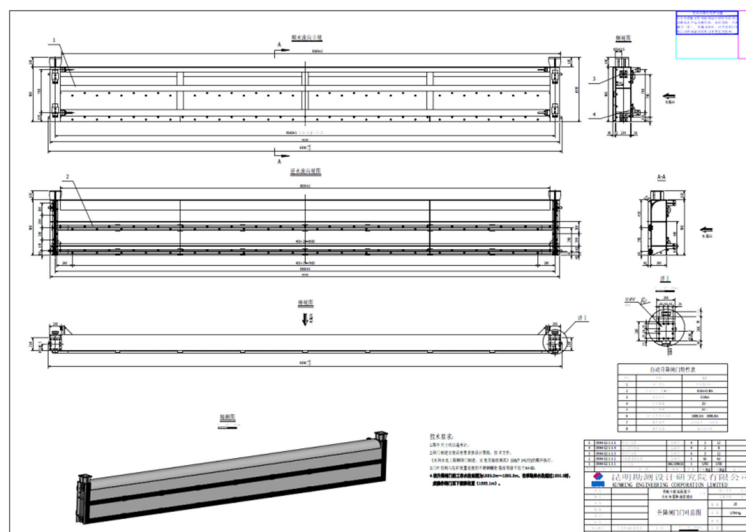
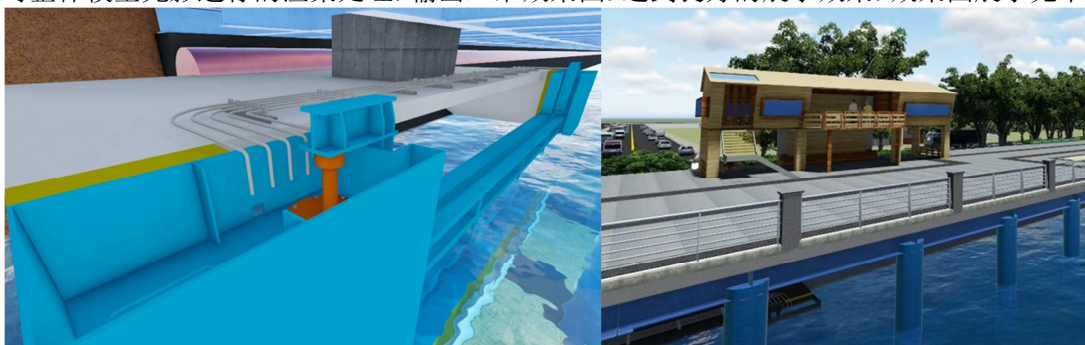
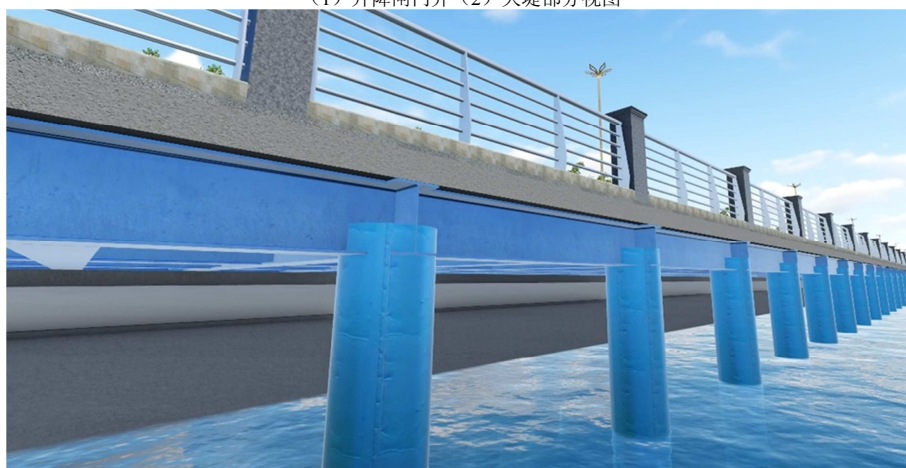


图 5 升降闸门制造总装图

展示效果输出主要是以三维效果图和动画对设计成果进行充分的展示，具有强烈的色彩和动态效果，可用于方案汇报和工程宣传等众多场合。将建立的金属结构设备组装到土建建筑物形成工程整体模型，在 Revit 中可对整体模型光影进行的渲染处理，输出三维效果图，达到良好的展示效果，效果图展示见下图 6。



(1) 升降闸门井 (2) 大堤部分视图



(3) 大堤钢平台视图
图 6BIM 成果效果图

4 结语

1) BIM 技术高效的参数化建模功能，实现输入参数、模型草图、三维模型、工程图纸之间的无缝对接，实现了参数输入一键更新。

2) 依托 BIM 建模技术快速构建工程实体模型, 对结构和功能进行检验并输出设计成果, 对设计成果进行充分展示, 显著提高金属结构设备设计的质量和效率。

3) 利用 BIM 建模技术构建的数字化模型, 实现了设计成果在工程全生命周期的保留、延续和共享, 为实现智能化工程提供了基础。

4) 项目建成后工程运行表明, 闸门收集蓝藻效果显著, 达到了预期目标。

参考文献

- [1] 叶建科、耿茜、郑易等, BIM 建模技术在海事码头结构设计中的应用[J], 水运工程, 2018 (10), 182~186.
- [2] 刘堃、李家华、杨彪, BIM 技术在深圳机场三跑道填海工程设计中的应用[J], 水运工程, 2018 (10), 194~199.
- [3] 鲁森, BIM 技术在市政道路设计中的应用与指导价值[J], 价值工程, 2018 (32), 257~258.
- [4] 廖照邦、杨兴富、马仁超、余俊阳, 三维弧形、平板闸门参数化标准模型的构建研究[J], 云南水力发电, 2013 (5), 21~25.

BIM 技术在水工金属结构设计中的应用实例及展望

夏云秋 胡涛勇

(华东勘测设计研究院有限公司 杭州 311122)

摘要: 本文介绍了 BIM 技术在拦污栅、钢闸门和启闭机产品设计中的应用实例, 介绍了 BIM 技术在数字化工程方面的应用实例, 并对应用前景进行展望

关键词: BIM; 水工金属结构

1 概述

水利水电工程中 BIM 技术应用日益广泛, 水工金属结构具有总装尺寸大、总装与零部件外形尺寸相差悬殊、细节多、数量多、结构复杂的特点。传统设计用二维平面图表达, 存在不直观、细节表达效率低, 不易发现干涉等问题。

我院自 2005 年开始试点使用三维软件设计产品, 从科研到试生产, 现已在拦污栅、平面钢闸门、弧形钢闸门、固定卷扬机等产品中广泛应用。在数字化工程方面也与相关专业协同设计完成若干项目。随着实践的深入和认识的加强, 对 BIM 技术在金结设计中的应用也在不断优化, 以期提高生产质量和生产效率。

2 应用实例

我院三维产品设计使用机械设计软件 Solidworks, 目前使用版本为 2018sp3 版。数字化工程协同设计使用 Microstation 软件, 目前使用版本为 V8i。

2.1 抽水蓄能水电站进出水口拦污栅产品设计

抽水蓄能水电站设计是我院核心技术之一, 响应院里标准化设计要求, 我专业针对拦污栅进行了三维标准化设计。抽水蓄能电站拦污栅孔口尺寸范围变化较小, 根据《抽水蓄能电站设计导则》要求, 拦污栅设计水头差宜取 5~6m, 孔口尺寸和水头均在某一范围内变化, 较适合进行参数化设计。我院在拦污栅三维设计之初就确定了采用自顶向下的参数化设计原则, 基本参数保存于外部文本文件, 便于修改, 减少模型和工程图重建的时间, 提高工作效率。

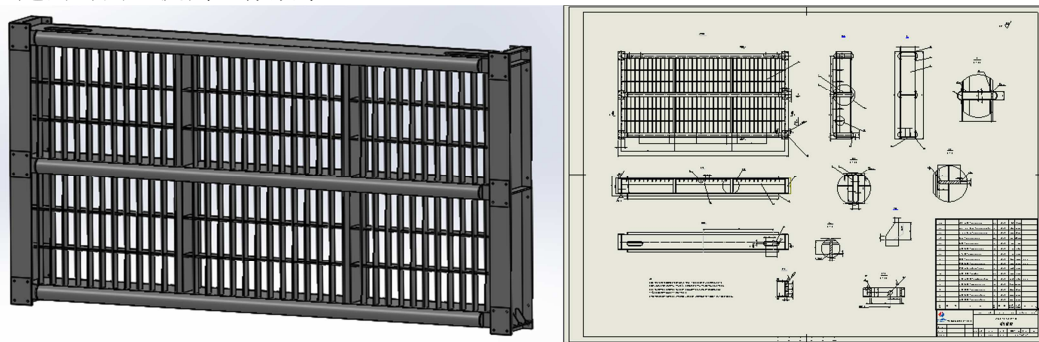


图1 单节栅叶结构模型及工程图

抽水蓄能电站拦污栅三维参数化设计已经基本实现, 新项目计算完成后, 只需输入基本参数(如孔口宽度, 支承跨度, 一节拦污栅高度, 主梁间距, 主梁、边梁的尺寸, 栅条净距, 栅条尺寸等)就能快速完成栅叶结构模型制作并生成二维详图, 相对于 Autocad 作图, 大大提高了效率。若需局部修改, 只需打开.txt 文件修改某一参数, 图形就能自动修改, 尺寸标注和材料表随图形同时自动修改, 规避了以前利用 Autocad 制图, 修改出现遗漏的问题。

2.2 平面钢闸门产品设计

平面钢闸门是水工金属结构中应用最广泛的门型, 其门叶结构简单, 但某些零部件较复杂, 如充水阀、定轮等。水封等零部件虽建模简单, 但因紧固件较多, 模型和工程图处理起来对内存和显卡消耗较大。门槽总图结构简单, 但纵向尺寸太大也导致软件运行困难。

作者简介: 夏云秋 (1980-), 女, 吉林德惠人, 高级工程师, 从事水利水电工程金属结构设计工作。

经过多年的摸索, 我们形成了一套设计思路: 对平面闸门的设计采用自上而下的参数化设计和自下而上的装配设计结合; 对常用零部件采用标准化设计; 对门叶结构采用焊件模式设计; 对大部分紧固件进行压缩减少内存和显卡的消耗; 对门槽设计采用 Autocad 辅助设计。

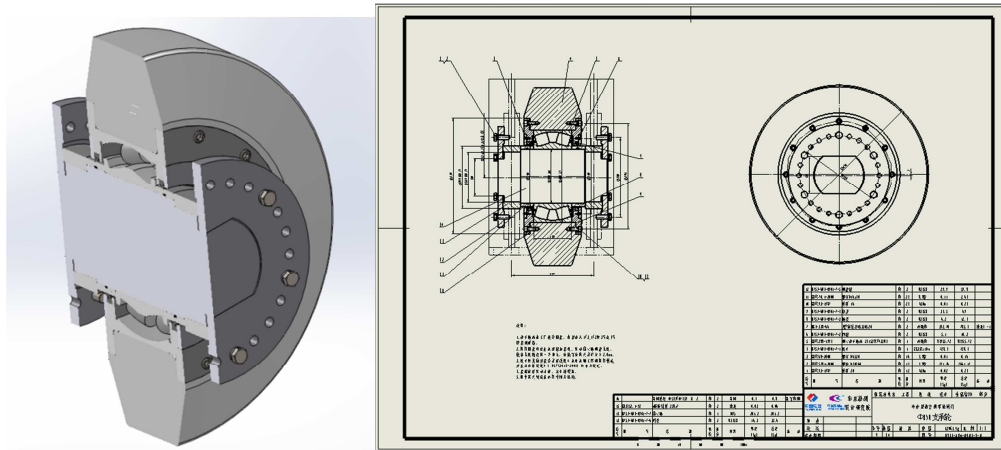


图2 定轮标准化设计

定轮、充水阀、滑块、水封等标准件库日益完善, 减少了设计、校核、审查的工作量, 也使设计成果更趋于规范统一。门叶结构因尺寸和水头变化范围较大, 难以标准化设计, 但可以通过不断累积, 成果共享, 实现减少修改量提高效率的目标。门槽总图设计经过全三维设计→三维建模二维出图→特殊结构三维建模其余全部 Autocad 设计出图三个阶段, 主要制约因素是门槽尺寸过大导致系统运行速度十分缓慢, 严重影响生产效率, 难以体现三维设计的优势。随着硬件技术和软件功能的提升, 我们也随时关注门槽总图是否能实现高效的三维设计。

2.3 弧形钢闸门产品设计

弧形钢闸门的布置复杂, 二维图上不易表达清楚。利用 BIM 技术的三维设计, 使弧形闸门的斜支臂及连杆、支铰结构、转铰水封、爬梯等布置直观清晰, 利用轴测图与标准三视图配合使用, 还可辅助 edrawing 共享和查看工具, 为工厂制作和现场施工带来方便。弧门重心位置一键生成, 使启闭力计算相关数据更准确。3D 草图的使用将空间位置固化, 主要基准线和基准点唯一, 避免了自由绘制可能出现的失误。

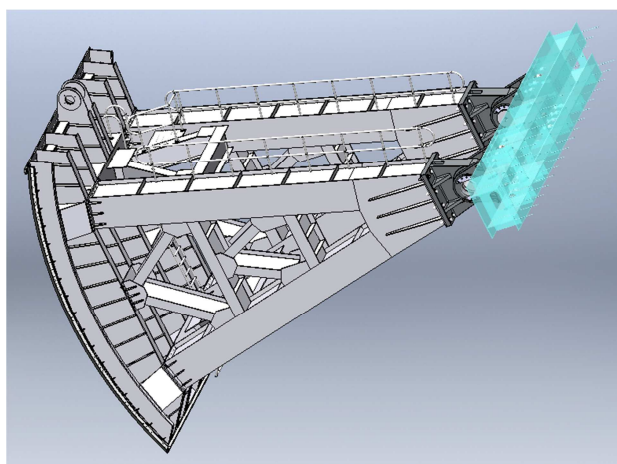


图3 弧门门叶总图设计

弧门的参数化设计在金结设备招标阶段优势明显, 可在调整参数后短时间内统计出工程量和重心, 与原始的 excel 表格统计相比, 明显提升工作效率。弧形闸门存在较多不规则形状板件, 在材料明细表统计时需要较多人工干预, 目前软件还不能智能读取最大外形尺寸。

2.4 固定卷扬机产品设计

水电工程中固定卷扬机往往具有大吨位、高扬程特点，加之卷扬机设备本身装配关系较多，为应对尺寸大、装配关系复杂的情况，设计时在机架和卷筒的尺寸和定位初步确定后，再将其他零部件依次定位装配。期间若发现机架尺寸需要增加或有优化空间，可随时调整，工程图随之变化；若某一零部件需要更换型号，可选择该零部件的相应配置，其他相关零部件会自动调整空间位置，工程图也随之变化。

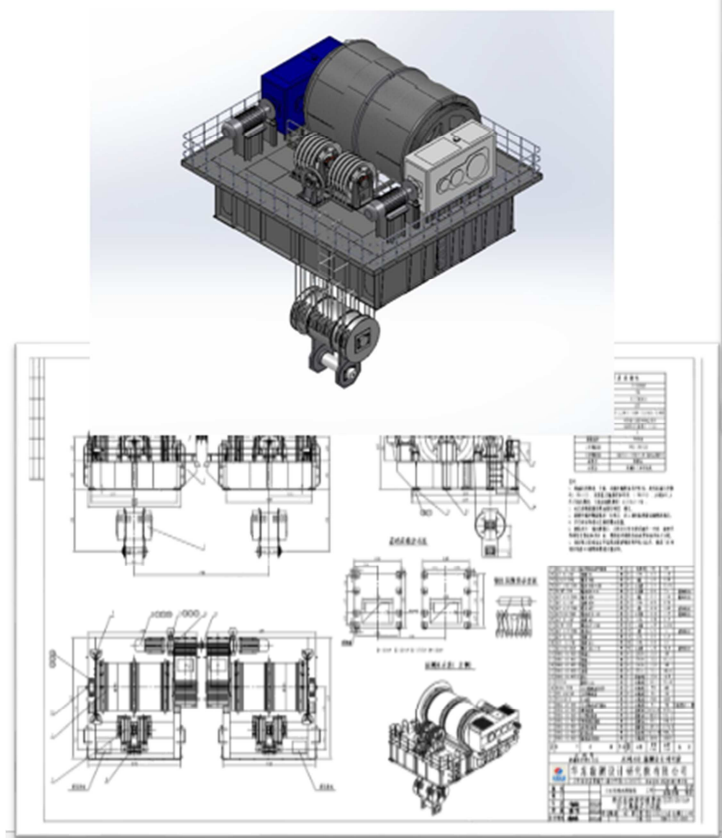


图 3 固定卷扬机设计

卷扬机为机械类产品，包含大量外购件和机加工件，利用三维设计可更好地把握产品空间结构和便于干涉检查。卷扬机多数零部件存在若干配置，可利用系列零件设计表驱动生成不同配置，在装配时按需选用，明显提高设计效率。在从三维模型生成二维工程图过程中，卷扬机也出现运行速度较慢现象。一些非结构尺寸的修改还不够方便，如焊缝标注、粗糙度标注等。

3 数字化工程配合

我院数字化工程应用于洪屏抽水蓄能电站、仙居抽水蓄能电站、龙开口水电站等水电工程和灵江扩排挡潮工程等水利工程中。在同一个三维平台与相关专业协同设计，对金属结构设备与其他设备的相对位置关系、进出场条件、检修巡视通道等均一目了然，便于检查干涉和对工程总体布置进行优化。

在数字化工程配合中，金结模型的轻量化工作非常重要，由于金结模型与土建模型相比线条多、平面曲面多、零部件多，若不进行深度轻量化，装载进平台后会导致平台无法运转。对于灵江扩排挡潮工程的 15 孔单宽 26m 的桁架闸门，尽管进行了深度轻量化，装载后平台运转仍出现卡顿现象。

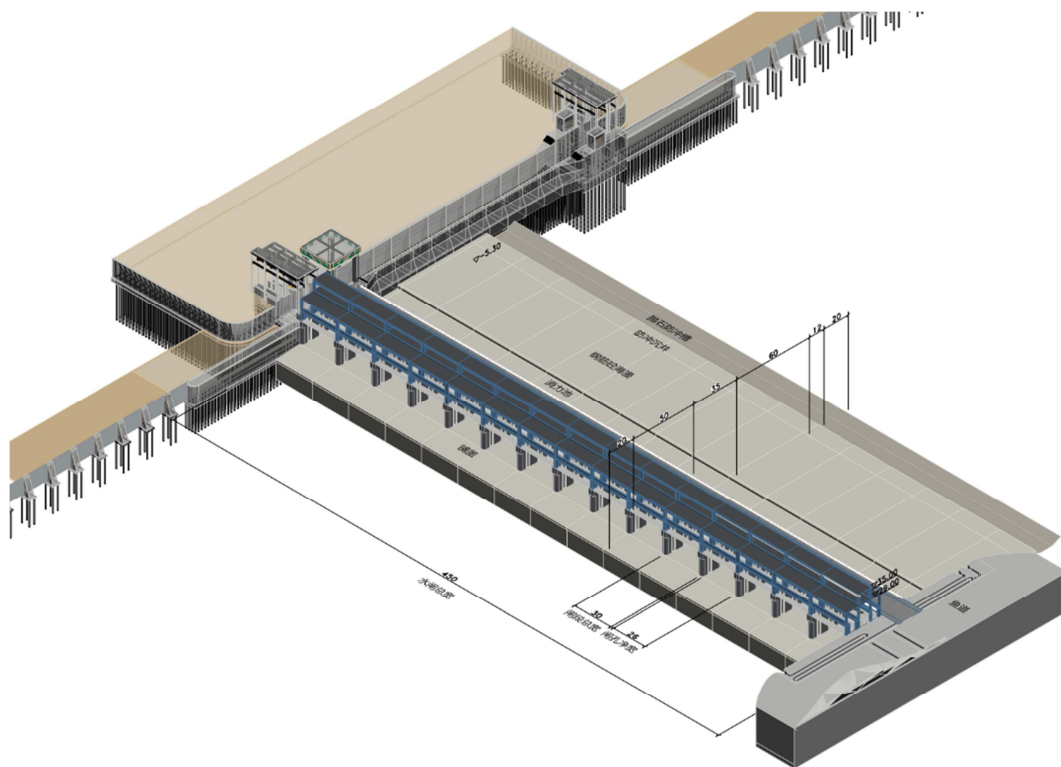


图5 灵江扩排挡潮工程 BIM 模型

4 遇到的问题

BIM 技术应用于金属结构设计也遇到了不少困难和问题，有些随着软件和硬件的更新已经解决，还有些暂时无法解决的，需要我们寻求替代方案。主要包括以下几个方面：

- 1、多数金结制造厂家和业主单位习惯于运用 Autocad 软件查看图纸，Solidworks 软件生成的二维图与 Autocad 软件的兼容性不够理想，需要一定的后处理工作。
- 2、利用 Solidworks 三维模型进行力学分析，对分析结果准确性的评估较为困难。出现与理论计算偏差较大的情况，还需要引入第三方软件进行验证。
- 3、门槽总图利用三维软件出图不能明显提高效率，大尺寸门槽甚至降低效率。
- 4、图签更换工作量较大，总承包的国际工程中图签经常随工程不同而不同，需要针对每个项目制作相应的图签，比较费时费力。遇到这种情况会将图纸导出至 Autocad 中修改。
- 5、模型的轻量化效果不理想。

5 结语和展望

BIM 技术在工程领域的应用会越来越广泛和深入，金属结构设备在设计、制造、安装、运行维护、安全信息管理等各阶段依托 BIM 技术的支持，可实现全生命周期管理。而在设计阶段将 BIM 技术的思想贯穿于设计的始终，必将为以后各阶段的实施带来根本的变化。因此我们在已经应用 BIM 技术的产品中继续完善设计的同时，拓展到更多水工金属结构产品设计中，最终可实现水工金属结构设计领域的“所见即所得”，既提升了设计水平，也给个工程建设各相关方带来更好的体验，也为整个工程的全生命周期管理创造基础。

BIM 技术在桃源水电站金属结构中的应用

胡彩石

(中南勘测设计研究院有限公司, 湖南长沙, 410014)

摘要: 介绍了 BIM 技术在桃源水电站金属结构设备全生命周期中的应用情况。在桃源水电站中, BIM 技术应用在金属结构设备的可研、招标、施工详图等设计阶段, 提高了设计效率 and 设计质量, 减小了工程投资; 并创新性地应用在金属结构设备的制造、安装和电厂运行维护等阶段, 形成了一套贯穿于工程全生命周期的技术手段。

关键词: BIM 金属结构全生命周期

1 工程概况

桃源水电站位于湖南省桃源县城附近的沅水干流河段, 上游距凌津滩水电站约 38km, 是一个以发电为主, 兼顾航运、旅游等综合利用的工程。电站枢纽主要由泄洪闸、发电厂房、船闸等水工建筑物组成, 水库正常蓄水位 39.50m, 利用河段落差约 7.5m, 装机总容量为 180MW, 装设 9 台单机容量 20MW 的贯流式机组。桃源水电站工程金属结构设备主要分布于泄洪工程、船闸工程、发电工程和临时工程等, 共包括各类永久闸门(含拦污栅) 74 扇, 各类门槽(含栅槽、门库、导槽) 115 套, 各种型式启闭机 35 套, 各类临时闸门 13 扇, 工程量总计约 1.6 万 t。



图 1.1 桃源水电站三维设计效果图

2 BIM 技术应用方案

桃源水电站金属结构 BIM 技术应用方案主要包括采用 SolidWorks 三维设计系统和 PDM 数据管理平台。

SolidWorks 是世界上第一个基于 Windows 开发的三维 CAD 系统, 有功能强大、易学易用和技术创新三大特点, 这使得 SolidWorks 成为用户使用数量最多的三维设计软件。桃源水电站中采用了 SolidWorks 软件进行三维设计, 采用了 SolidWorks Simulation 进行三维有限元分析, 采用了 SolidWorks Edrawings 进行三维校审, 采用 SolidWorks Composer 进行三维动画制作。

为实现三维设计的统一性、规范性和三维产品的协同设计, 桃源水电站在设计时采用了产品数据管理平台 PDM (Product Data Management)。利用该平台, 可存放设计库文件, 方便调用, 实现数据信息的统一。对于复杂的装配体, 基于 PDM 平台, 开展自顶向下的多人员协同设计, 由设计负责人将包含布局草图的子装配体分配给不同的设计工程师, 设计工程师完成该子装配体设计后, 总装配体将同步更新; 当需要修改时, 设计负责人在总装配体的布局草图中进行修改, 零部件也将同步更新。通过实施 PDM, 可以提高生产效率, 有利于对产品进行全生命周期管理, 加强对文档、图纸、数据的高效利用, 使工作流程规

范化。

3 工程应用情况

桃源水电站金属结构设备在可研、招标、施工详图设计阶段采用 SolidWorks 软件全面实施了三维设计，实现了从三维建模、三维出图、三维校审等数字化基础应用，并实现了金属结构设备的 CAD/CAE 一体化分析。除应用于上述设计阶段，还应用于设备的工厂制造、设备的现场安装和电站建成后的运行维护阶段，实现了三维数字化设计在金属结构设备全生命周期中的应用。

3.1 可研阶段

可研阶段金属结构产品三维设计主要应用于方案比选、关键技术问题分析、工程量计算、专业配合等。



图 3.1 泄洪系统金属结构设备布置三维模型

本阶段根据水工相关资料，完成了泄洪系统、发电系统和船闸系统等的金属结构三维设计，并与水工模型进行装配，抽取了可研布置图。由于本阶段的三维模型主要用于抽取可研布置图，因此模型均为粗略模型，略去了一些细节。如图 3.1，为泄洪系统金属结构设备布置三维模型。

3.2 招标和施工详图设计阶段

招标阶段主要对可研阶段三维模型进行深化，并生成招标附图。由于招标工程量关系到工程投资，因此招标阶段三维模型均为精细模型，基本能达到出施工详图的深度。施工详图阶段是在招标阶段三维模型上进一步优化，提高设计成果正确性，并绘制整套施工详图。这两个阶段主要采用了以下一些三维技术手段。

3.2.1 三维协同设计

利用三维产品数据管理平台 PDM 软件，实现多人同时设计，各零部件同步更新，设计进度可以实时监控，标准数据及零部件等可以共享。

以船闸下闸首人字工作闸门施工设计为例，闸门孔口宽度 18.0m，门前最大水深 16.66m，闸门由门叶结构、斜接柱、门轴柱、顶枢装置、底枢装置、水封装置、顶底枢润滑装置等组成。该闸门结构复杂，零部件数量众多，各部件之间又相互关联。在设计时，由设计负责人在人字门总装配体中分别绘制前视布局草图、侧视布局草图和顶视布局草图，将各草图分别派生至门叶结构、顶枢装置、水封装置等子装配体中，再将子装配体安排给不同工程师进行设计。当需要修改时只需设计负责人在布局草图中修改即可，子装配体可同步更新。

3.2.2 三维校审

依托三维数据管理平台 PDM 软件，校审人员可以全过程地参与设计者的设计过程，了解设计人员在设计中存在的问题，节约设计人员的设计修改时间。利用 SolidWorks Edrawings 工具，校审人员可直接在模型上或者图纸文件上进行批注，真正实现了无纸化办公，同时有效的解决了传统纸质文件不能缩放查看的问题。图 3.2-1 为某门叶结构工程图纸三维评审。

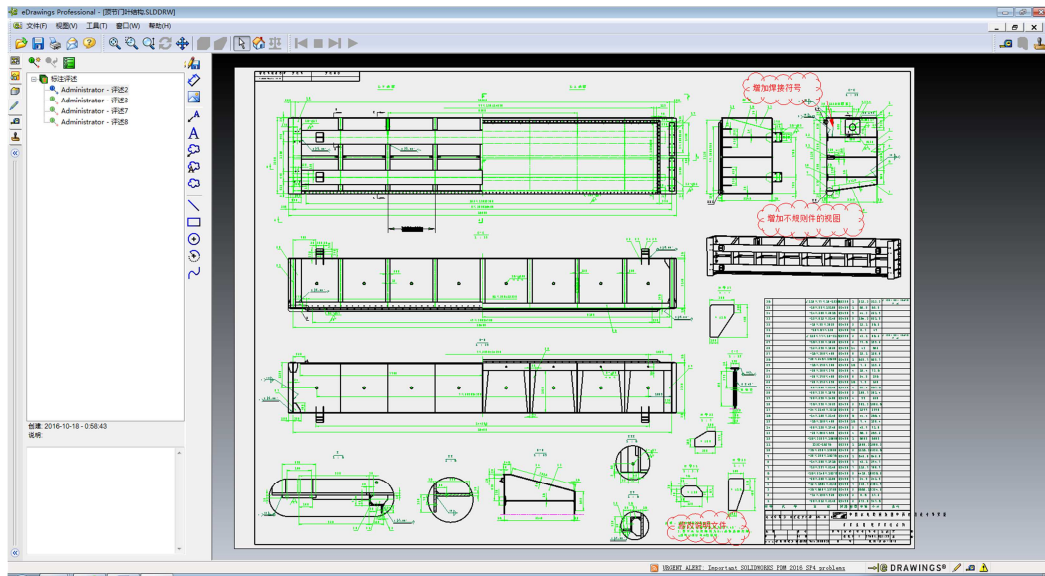


图 3.2-1 工程图纸三维评审

3.2.3 三维有限元分析

在完成金属结构设备模型设计后,对主要受力部件进行了三维有限元分析,针对不同的结构布置型式,可以根据三维有限元分析结果,选定最优结构布置,以及对细部结构进行优化;在地震等非常工况下,对主要结构的非常规使用工况的敏感性分析,可以对设备在长时间使用或者超负荷情况下的薄弱部位进行优化。在对可运转部件进行动态三维模拟运行后,确保产品设计最优化。

对于固卷机架,传统手工计算时,需根据各零部件的工作情况计算它们在机架上各点的作用力,然后根据各点的作用力单独计算机架中某些梁的受力情况,以及基础荷载的值。在桃源水电站某固卷设计时,利用 SolidWorks 建好的三维模型,导入 SolidWorks Simulation 软件中,进行了有限元分析。通过有限元计算结果,对手工计算结果进行了验证,对一些手工无法计算出来的局部应力过大区域进行了加强。图 3.2-2 为机架的荷载加载,图 3.2-3 为机架有限元计算的应力图。

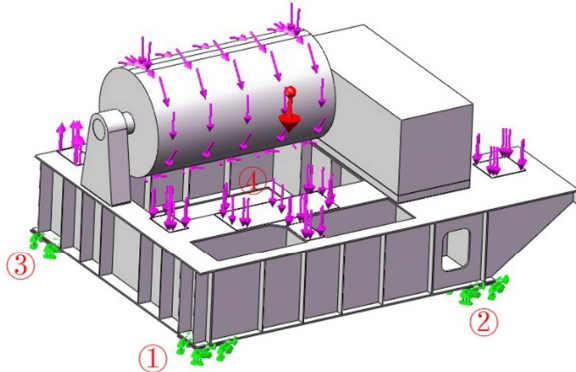


图 3.2-2 机架的荷载加载

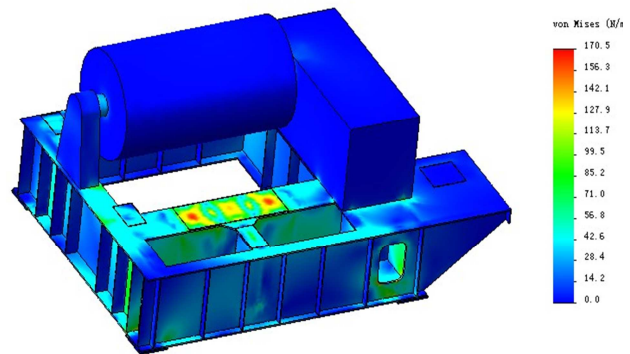


图 3.2-3 机架有限元计算的应力图

3.3 工厂制造阶段

BIM 技术在工厂制造阶段的应用主要包括两个方面:

1) 利用三维模型视图直观、方便阅读的特点,对于复杂金属结构设备零部件的制造,三维模型有助准确下料,合理安排焊接工序,避免错焊、漏焊等错误发生。

2) 部分零部件的造型复杂,曲面量多,制造精度要求高,需采用数控加工。利用三维模型,结合数控加工软件,便可完美实现工艺零部件的数控加工。例如弧形闸门冲压式水封底座,造型复杂,加工精度要求高,利用 SolidWorks 三维模型,再结合 Mastercam 系统,直接生成可解读数控加工程序的 CNC 码,数控机床根据 CNC 码对原材料数控加工,精确地将金属结构产品三维模型成果转化为金属结构产品。

3.4 安装阶段

部分设备尺寸庞大,施工转运、吊装复杂。传统方式是利用二维图纸制定施工方案。由于二维图纸空间构造不直观,重心计算繁琐易出错,大型设备在转运线路上和吊装过程中易出现设备与周围建筑物的碰

撞,造成设备破坏或安全事故。例如船闸上闸首工作闸门尺寸 $19.5\text{m}\times 10\text{m}\times 1.8\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)、船闸下闸首工作闸门尺寸 $18.0\text{m}\times 11\text{m}\times 1.3\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高),设备尺寸庞大,转运、吊装复杂。通过施工单位和设计单位合作,利用三维设计成果,仿真模拟设备转运、吊装过程,避免了转运和吊装过程中可能出现的干涉,顺利完成设备安装。

3.5 运行维护阶段

利用 BIM 信息整合和三维可视化的特点,将设备各类简要信息整合到 BIM 模型中,进行可视化的表达和相应各类信息统计,实现设备的可视化运行维护管理。例如桃源水电站船闸系统设备多,运行流程复杂,通过 SolidWorks Composer 软件制作船舶过闸动画,直观地将每一流程进行动画演示,可避免设备误操作,若运行过程出现问题,能及时准确找出故障点,极大地方便了电厂的运行维护,也便于电厂进行岗前培训。

4 结语

BIM 技术应用在桃源水电站金属结构的可研、招标、施工详图等设计阶段,以及设备的制造、安装和电厂运行维护等阶段,形成了一套贯穿于工程全生命周期的技术手段。

新技术的应用,全面提高了工程设计效率和产品设计质量,大幅提升了企业的核心竞争力与工程建设品质,为业主方提供了更好的技术服务和数字化管理平台,为其他工程提供了很好的借鉴与参考,对整个行业三维数字化进程起到了良好的推动作用。

基于 BIM 的液压启闭机在线检测系统研究

钱雪松, 何钢, 冯慧慧, 朱炳麒

(河海大学机电工程学院, 江苏省常州市, 213022)

摘要: 针对闸门液压启闭机工作时间短维护困难等问题, 本文将 BIM 技术与液压系统检测相结合, 提出了一种基于 BIM 技术的闸门关闭状态下液压启闭机现场检测系统的方案, 即在建立闸门几何信息及液压启闭机的液压回路信息与压力传感器布局等信息模型基础上, 通过采用闸门关闭状态下低压运行和油源的高压测试技术, 实现液压启闭机的远程与现场在线相结合的故障定期检测, 并结合 BIM 技术, 实现液压启闭机全生命周期系统维护信息和历史数据的可视化与预警, 为洪涝灾害发生时保障液压启闭机的可靠运行及人民群众的财产和生命安全提供了保障。

关键词: 液压启闭机, 故障诊断, BIM 技术, 压力传感器, 远程在线检测

1 引言

液压启闭机^[1-2]具有体积小、惯性力小、使用寿命长且安全高等优点, 是水利、电力工程的专用设备, 它能够实现闸门开启和关闭、挡拦栅的起吊与安放, 其工作原理^[3-4]是通过液压泵把原动机输出的机械能转化为液压能, 然后在经过管道、液压阀进入液压缸, 从而驱动水闸完成启门和闭门工作。对于蓄水闸门, 正常情况下, 闸门处于关闭状态, 启门的工作时间短。发生洪涝灾害时, 若启闭机发生故障, 无法启门, 会造成溃坝决堤等重大灾害, 给人民的生活造成严重影响。液压启闭机常见液压系统故障^[5-7]通常分为动作失效和液压油泄露。常见的液压系统故障诊断方法^[8-9]有感官检测法、系统检测分析法、振动检测法及故障树检测法, 其中前 3 种方法可用于简单液压系统的故障检测, 可实现故障的位置的检测, 而故障树检测法可用于复杂的液压系统的故障检测。然而, 现有的故障检测方法主要用于液压启闭机开启时的实时监测, 可在故障发生后进行原因诊断和故障修复。但在液压启闭机现实条件下, 不便通过开启启闭机来实现实时检测, 而当发现故障时已来不及检测维修, 因此发展不需要开启启闭机的检测方法, 同时实现液压启闭机的定期维护与预警对保障人民生命财产安全具有重要实际意义。

BIM(Building Information Modeling)在引入水利工程后, 在推动着水利工程高效管理、提高工程施工、维护与监测效率方面起到了重要作用, 已成为水利工程领域的研究热点^[10,11]。BIM 技术在水利工程中应用, 强调了建立水利设施的全生全周期的信息, 对水利工程的安全监控具有重要意义^[12]。为提高液压启闭机的检测效率并提高预警的水平, 本文引入 BIM 技术, 在建立液压启闭机的全生命周期信息模型, 包括闸门三维几何模型、结构安装、液压系统、元器件维护与检测维护记录等信息, 同时提出在闸门关闭状态的液压启闭机在线检测方案, 即在闸门关闭的状态下, 通过控制中心远程指挥和现场控制相结合操作液压启闭机系统, 实现液压启闭机系统实现低压运行和油源的高压测试, 检测液压启闭机系统的工作状态; 同时结合 BIM 技术, 建立液压启闭机的全生命周期信息, 并持续记录液压启闭机的液压系统的维护、维修状态, 实现液压系统的维护检测信息的可视化、科学评估与预警, 为洪涝灾害发生时液压启闭机可靠工作提供可靠保障, 对保障人民群众的生命财产安全具有重要实际意义, 同时也对水利机械的检测技术水平和管理信息化水平的发展具有重要实际意义。

2 建立闸门液压启闭机的信息模型

BIM 是一种完备的信息模型, 能够将工程项目在全生命周期中各个不同阶段的工程信息, 通过三维数字技术模拟建筑物所具有的真实信息, 并加以归类, 为工程设计和施工提供相互协调、内部一致的信息模型, 使该达到设计施工的一体化, 各专业协同工作, 从而降低了工程生产成本, 保障工程按时完成。水利机械中的液压启闭机主要用于闸门的启闭中, 发生的故障主要与液压缸、液压系统中回路、泵以及各种阀门等控制元器件、密封圈密切相关, 而理解启闭机控制闸门的启闭过程又需要结合闸门的结构形式、安装方式等信息; 液压系统的检测又需要借助于各种传感器来完成, 在液压系统故障检测中如能调用液压系统检测历史数据、维修信息, 并建立维修知识库, 就能大大提高故障诊断的准确性与维修效率。若将收集的闸门启闭机的信息完整地输入 BIM 软件, 集成上述所有的闸门液压启闭机的信息, 建立较为如图 1 所示较完整的 BIM 模型, 复杂的闸门液压启闭机的信息系统主要分为两部分, 一是闸门信息, 包括闸门三维模型、安装信息、结构形式与材料等信息; 二是液压启闭机信息, 包括其三维模型、结构形式、材料、液压回路

信息、控制元器件与传感器信息、安装信息、维护信息等。在 BIM 平台上，利用虚拟的三维空间定位，以不同形式表现设备不同状态，向用户直观展现设备的相关信息，实现其外形及维护信息的可视化。图 2 显示了闸门的外形图片，图 3 给出了弧形闸门三维结构模型图，从中可看出闸门门叶的结构。闸门液压启闭机的信息中，对液压系统故障诊断而言，液压回路是其中最重要的信息，图 4 给出了一种典型的液压启闭机液压系统图，液压系统主要由启油缸组成的执行装置、由液压动力单元组成的能源装置、以及各种阀门等元件组成的液压控制系统组成；结合该系统图，可动态显示相关的压力、流速等相关信息，实现可视化；同时也可以将各种元器件的性能参数、维修等信息的链接放在液压回路中，以便查收并显示。

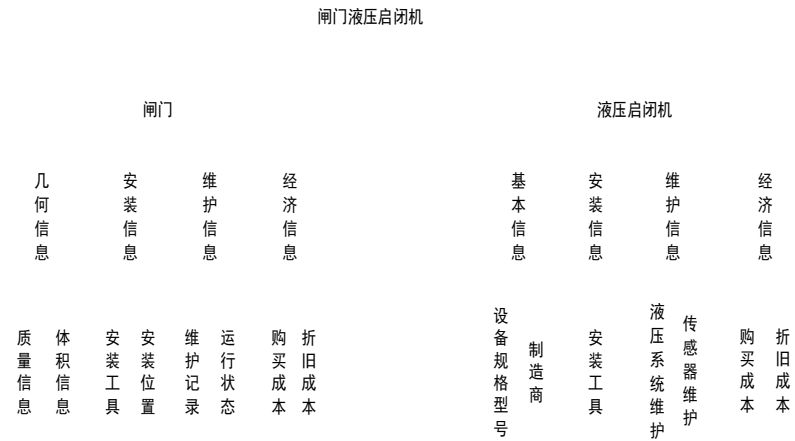


图 1 闸门液压启闭机信息模型



图 2 液压启闭机结构模型图 图 3 闸门门叶结构模型图

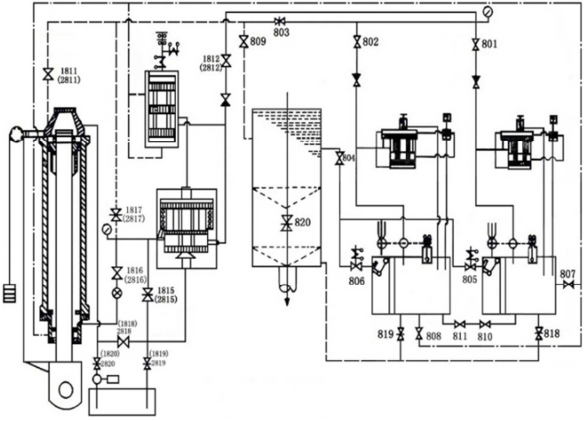


图 4 液压启闭机典型液压系统图

3 闸门关闭状态下液压启闭机在线故障检测

液压系统在关闭一段时间后，有可能会出现破损或微小异常现象，这些异常在液压启闭机未开启时是很难被发现的，一般只有在液压启闭机开启时才会发现液压启闭机的故障；由于机械设备较复杂，检修和更换部件较为不便，若故障严重，无法及时修复，不能实现闸门的正常开启，会给人民生命财产的安全带

来巨大灾难。结合闸门液压启闭机的实际情况，本文提出在闸门关闭情况下检测液压系统，即对启闭油缸施加不于其开启压力的油缸，通过在油缸两端及油源位置的压力的检测，分别实现油缸泄漏、操纵阀件操作功能等常见故障检测以及和液压系统状况监测。

3.1 液压系统改造及数据采集

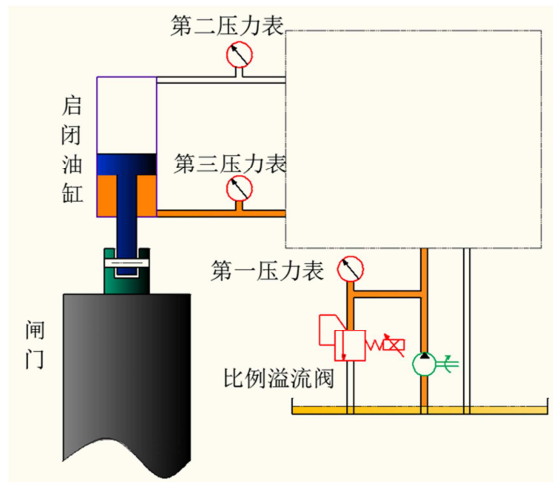


图 5 油路改造方案

针对液压启闭机闸门启闭动作失效故障不能及时检测的问题，在本文提出了一种油路检测新方案，不影响液压启闭机正常功能前提下，实现液压启闭机在关闭状态下故障检测问题。如图 5 所示，在液压动力单元处增加比例溢流阀，可对系统压力进行连续调节，方便实现低压测试和高压测试；在液压动力单元处增设第一压力传感器，用来检测和监控液压动力单元的压力；在启闭油缸的上下腔进油口管路分别加装第二压力传感器和第三压力传感器，实现启闭油缸关闭或开启动作测试，并检测液压启闭机上下油腔的密封性能。压力传感器可以是普通压力表、远程压力表、压力传感器中的一种。通过采用闸门开启压力 P_{k0} 和闸门关闭压力 P_{g0} ，检测保压状态下压力值，并生成压力-时间曲线，存入 BIM 系统，为后续液压系统的故障诊断提供参考。

3.2 液压启闭机操控阀件故障检测

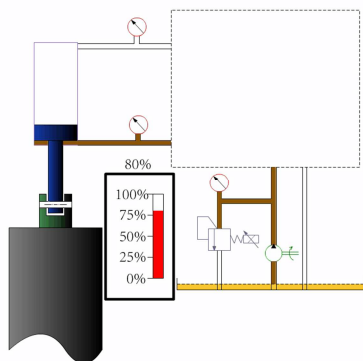


图 6 液压启闭机控制阀件开启故障检测

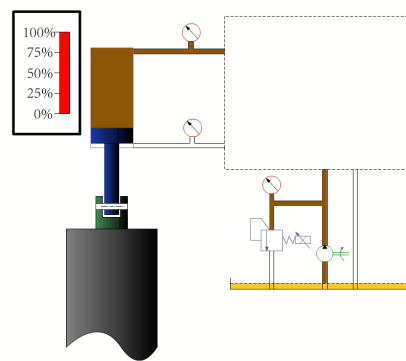


图 7 液压启闭机控制阀件关闭故障检测

图 6 给出了记液压系统在关闭状态下在线检测操控阀件开启故障检测原理的示意图，设定液压启闭机在线检测系统的测试压力 P_k 为闸门开启压力 P_{k0} 的 50~80%，通过数据处理及控制系统，确定与测试压力 P_k 对应的应输入的比例溢流阀的指令信号值 U_k 。调节比例溢流阀的实际指令信号值从 0 到 U_k 间变化，监测液压缸开启压力传感器的指示值是否随比例溢流阀的信号值增大而增大，并观察是否能最终达到所设定的测试压力 P_k 。

图 7 给出了液压启闭机液压系统在关闭状态下在线检测操控阀件关闭故障的检测过程示意图，基本原理与检测操控阀件开启故障的检测类似，即调节比例溢流阀的实际指令信号值从 0 到 U_k 间变化，监测液压缸关闭压力传感器的指示值是否随比例溢流阀的信号值增大而增大，并观察是否能最终达到所设定的测试压力 P_{g0} 。将正常启闭机液压系统的压力值的测试相关数据存入 BIM 系统，在后续使用过程中，将实时检测的各种压力数据与对应的正常无故障状态的液压启闭机的对应的各项数据进行对比分析，以判断当前

液压启闭机操控阀件的操作动作的有效性与可靠性。

3.3 液压启闭机系统压力及启闭油缸故障检测

图 8 给出了液压系统在关闭状态下液压系统压力故障的在线检测过程的示意图,通过增设油源压力传感器,监控油源压力是否达到了额定工作压力,判断液压启闭机的动作是否失效。液压泵将液压油通过右回路,连接油源压力表的右下侧回路密封,液压泵持续工作,使得通道内压力持续增大,当液压油检测油源压力表上的值为 P_{k0} 的 100% 时,液压油通过比例溢流阀,液压启闭机系统无压力故障,反之则说明液压启闭机可能存在压力故障。

同时,在关闭状态下还可以对液压启闭机启闭油缸的故障进行在线检测,其基本原理是:增大比例溢流阀所设置的压力值,液压泵将液压油输入液压油回路中,不通过比例溢流阀,而进入液压缸下腔中;当液压泵持续输出液压油时,液压缸下腔油压持续增大,当液压油检测到启闭机开启压力表显示值为 P_k 值的 50%~80%,开始记录启闭机开启压力和关闭压力传感器测试压力与时间的变化趋势曲线;记录定时间后,关闭液压泵后,再记录启闭机开启压力和关闭压力传感器测试压力与时间的变化曲线,并与存储在 BIM 系统中的保压状态的压力-时间曲线以及初始完好状态的油压-时间曲线进行对比分析,从而判断启闭油缸是否发生泄漏。

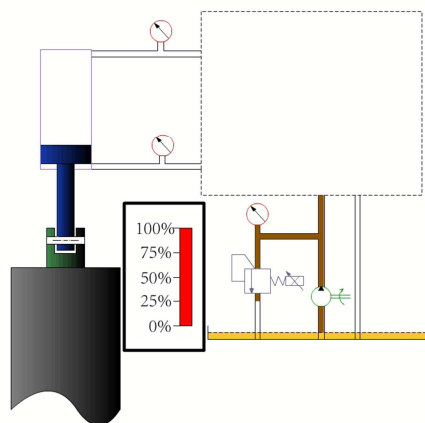


图 8 液压启闭机压力故障检测

在各种检测方案中,可以在液压启闭机液压系统初始无故障闸门关闭状态下测量各种压力数据曲线,并存储在 BIM 系统中,在运行维护过程中,持续测试各种数量,并进行全寿命周期数据存储和状态跟踪;同时,建立基于人工智能技术故障分析系统,将后期测试数据与初始无故障状态的测试数据进行对比分析,从而实现在闸门关闭状态下的液压系统的高效故障检测。借助于 BIM 系统,可在液压启闭机液压系统检测过程中实现各压力传感器测试数据的实现显示,同时将测试出的各种数据以不同颜色的曲线的方式显示,以使用户进行对比分析。根据 BIM 系统存储数据,还可以实现液压系统安全状况、液压系统的关键元器件的维护提醒与安全状态预警功能。

4 远程在线检测系统及实施步骤

为了便于实现集中监控与管理,提高水利设施的信息化水平,若能实现液压启闭机的联网集中监测,由专业人员定期检测,就可以大大提高水利机械装备的可靠性;为实现该目标,图 9 给出一种液压启闭机液压系统远程在线检测系统实验方案图,可实现闸门关闭状态下的液压启闭机远程在线故障检测,通过远程控制电脑自动采集和记录的液压系统运行数据,将采集每个压力表上的压力值,并将其与所设定的预期值进行对比,以便对液压启闭机液压系统状态进行诊断。

液压启闭机在关闭状态针对其开启过程可实现远程在线检测,具体过程为:控制中心发送指令,通过数据远传装置传输到数据处理及控制系统,首先设定比例溢流阀的指令信号为零,然后,启动油泵,通过操作液压控制系统,通过数据远传装置传输到控制中心,控制中心分析液压缸开启压力传感器的压力信号是否随之加大,并达到测试压力 P_k ,如果第三压力传感器的压力信号值大致能够达到测试压力 P_k ,说明液压启闭机的油泵、比例溢流阀、液压控制系统、启闭油缸,在液压启闭机的开启过程,能够实现正常工作,否则,需要对液压启闭机系统进行检修。采用与此相似的原理,可实现液压启闭关闭过程的远程在线检测。

液压启闭机在关闭状态下对系统压力的远程在线检测过程为：控制中心发送指令，通过数据远传装置传输到数据处理及控制系统，首先设定比例溢流阀的指令信号为零，液压控制系统处于关闭状态，然后，启动油泵，油泵的出油只能通过比例溢流阀和液压回路流到油箱，逐步加大比例溢流阀的指令信号，使得比例溢流阀的指令信号值达到 U_k ，数据处理及控制系统自动采集油源压力传感器的压力信号，通过数据远传装置传输到控制中心，控制中心分析油源压力传感器的压力信号是否随之加大，并达到开启压力 P_k ，如果油源压力传感器的压力信号值大致能够达到开启压力 P_k ，说明液压启闭机的油泵、比例溢流阀能够实现正常工作，液压启闭机系统压力正常，否则，需要对液压启闭机系统进行检修。

该方法在液压启闭机不工作状态下，检测液压启闭机能否正常工作。通过控制中心对液压泵和比例溢流阀的控制和压力表上数据的采集分析，实现液压启闭机开启/关闭动作的定期检测，降低液压启闭机工作时的故障发生率。通过控制中心建立联网远程和现场相结合的在线故障检测方法，实现统筹监控和管理，提高水利装备的技术水平，规避网络安全风险，保障液压启闭机的动作可控性。此外，能够为维修人员乃至液压系统设计人员提供第一手的丰富资料，有助于改进设计，降低了故障检测操作人员的技术要求，还可由指定人员远程统一定期检测，提高了液压启闭机的工作可靠性。检测方案简单易行，不需要对原有系统进行大范围改造。

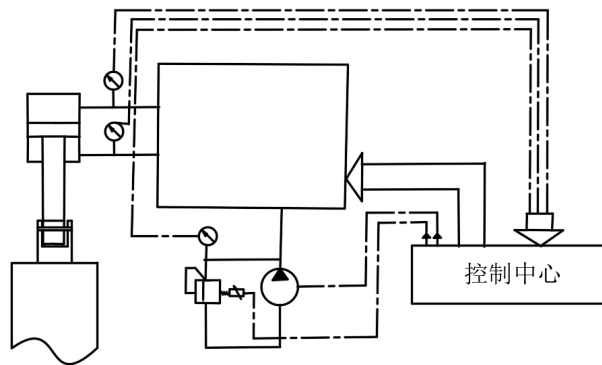


图9 远程在线检测系统原理图

该系统的实际具体实施包括以下步骤：先建立一个闸门关闭状态下液压启闭机现场在线故障检测系统的示范点，实现基本的在线检测功能，然后对液压启闭机现场在线故障检测系统实施长期反复运行，跟踪和评估系统的正确性、可靠性和安全性；在对完成关实验数据的采集、积累后，对所有数据进行分析处理，研究开发现一套标准化的液压启闭机现场在线故障检测系统；在此基础上对液压启闭机现场在线故障检测系统实施推广，并根据推广中发展的的问题及积累的经验基础上，开发液压启闭机远程和现场相结合的在线故障检测系统，最终实现液压启闭机远程和现场相结合的在线故障检测系统的区域联网。

5 总结与展望

液压启闭机是水利水电工程的重要设备，常用的液压启闭机只能实现使用时故障检测，本文提出了一种新的液压启闭机在线检测方案，在液压启闭机关闭状态下，通过增设压力传感器和比例溢流阀对液压启闭机的油源压力和液压缸的密封性进行现场测试，以压力表上的显示值判断液压启闭机的开启/关闭动作能否实现。为提高液压启闭机检测效率与预警水平，本文引入 BIM 技术，建立液压启闭机的全生命周期信息模型，包括闸门三维几何模型、结构安装、液压系统、元器件维护与检测维护记录等信息，同时提出在闸门关闭状态的液压启闭机在线检测方案，即在闸门关闭的状态下，通过控制中心远程指挥和现场控制相结合操作液压启闭机系统，实现液压启闭机系统实现低压运行和油源的高压测试，检测液压启闭机液压系统工作状态，并采用 BIM 技术在全生命周期自动记录液压启闭机的液压系统的维护状态，实现液压系统的维护检测信息的可视化、科学评估与预警，为洪涝灾害发生时液压启闭机可靠工作提供可靠保障，对保障人民群众的生命财产安全具有重要实际意义，同时也对水利机械的检测技术水平和管理信息化水平的发展具有参考价值和指导意义。

参考文献

- [1] 董必钦.三峡枢纽工程中的液压启闭机[J].液压与气动,1998(1):3-6.

- [2] 董向妮.浅谈水工闸门液压启闭机的故障诊断、维护与保养[J].内蒙古水利,2018(8):61-62.
- [3] 黄可璠.液压启闭机在船闸中的应用[J].中国水运(下半月),2018,18(8):73-74.
- [4] 贺小平,席前伟,王海涛.三峡大坝液压启闭机液压系统设计分析及故障诊断[J].水电站机电技术, 2007(06):46-49.
- [5] 吴志强.浅谈液压启闭机的故障分析与维护管理[J].中小企业管理与科技(上旬刊),2018(6):139-140.
- [6] 管世珍,谢广东,顾生锋.浅谈液压启闭机典型故障及处理措施[J].机电工程技术,2017,46(11):114-117.
- [7] 段立辉.液压启闭机闸门下滑故障诊断与处理[J].设备管理与维修,2013(7):26-27.
- [8] 杨恒乐,郭建斌.基于故障树贝叶斯网络的液压启闭机故障诊断方法[J].液压与气动,2015(1):44-48.
- [9] 姜宽舒,郭建斌,唐泽,王江,李欣.基于故障树的液压启闭机故障诊断系统[J].机械与电子,2014(5):55-58.
- [10] 胡振中, 陈祥祥, 王亮,等. 基于 BIM 的机电设备智能管理系统[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013(1): 86-88.
- [11] 过俊, 张颖. 基于 BIM 的建筑空间与设备运维管理系统研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013(3): 41-50
- [12] 马飞. 基于 BIM 的水利工程安全监测管理系统研究[D].河北工程大学,2017.

SolidWorks 在水工金属结构 BIM 设计中的应用

刘天祥, 黄海杨, 谢立华

(浙江省水利水电勘测设计院, 杭州 310000)

摘要: 近年来基于 BIM 技术的三维协同设计获得了前所未有的发展, 尤其是在工程设计方面显示出了强大的生命力, BIM 三维设计已成为设计行业技术发展不可阻挡的主流趋势。依托于 SolidWorks 三维设计软件和 BIM 协同设计平台, 水工金属结构专业在闸门、启闭设备、清污设备、压力钢管等设备的设计和协同配合中逐步实现了参数化三维建模、模型联动生成二维工程图、有限元辅助计算、专业协同碰撞检查等技术应用, 大大提高了设计效率, 使设计成果更加可视化、直观化。

关键词: SolidWorks; BIM; 水工金属结构; 参数化; 二维工程图; 三维协同

1 引言

工程勘测设计是水利水电工程建设中的重要环节和依据, 设计手段的变迁共经历了三个时代, 即手工绘图时代—电脑 CAD 辅助设计时代—BIM 三维协同设计时代, 三维设计手段已经成为工程设计必然发展方向与趋势^[1]。2011 年, 我院金属结构专业在对三维设计软件广泛调研后引进了 SolidWorks 软件, 率先开展了三维设计应用, 并取得了实质性成果。随后, 我院于 2015 年 11 月正式启动了三维协同设计工作, 引进欧特克公司 Revit 系列软件构建的 BIM 三维协同设计平台^[2], 正式从 CAD 二维绘图时代向三维设计时代迈进, 以适应水利行业信息化、数字化发展趋势的客观需要, 满足业主对设计成果可视化、直观化及工程全生命周期信息化的需求。

本文结合金属结构专业已有三维设计成果, 主要介绍我院三维设计软件 SolidWorks 在闸门、启闭设备、清污设备、压力钢管等常见金属结构设备设计和建模中的应用现状、BIM 三维协同设计中难点和处理方案及下一阶段的应用展望。

2 金属结构设计 BIM 应用成果

2.1 SolidWorks 软件简介

SolidWorks^[3]是由美国 SolidWorks 公司推出的功能强大的三维机械设计软件系统。SolidWorks 是一个大型软件包, 由多个功能模块组成, 每一个功能模块都有自己独立的功能。设计人员可以根据需要来调用其中的某一个模块进行设计, 不同的功能模块创建的文件有不同的文件扩展名。主要有草图绘制、零件设计、装配模块、工程图模块、钣金设计、模具设计、运动仿真等功能模块。

利用 SolidWorks 建模首先基于整体角度研究将要建模的零件, 分析其特征组成, 明确不同特征之间的关系和内在联系, 确定零件特征的创建顺序, 在此基础上进行建模、添加工程特征。通过二维平面草绘图的旋转、拉伸、扫描和混合等工具来实现三维实体模型的构建。SolidWorks 建模的一般过程如下:

1. 建立或选取基准特征作为模型空间定位的基准: 如基准面、基准轴和基准坐标系等。建立每个实体特征时, 都要利用基准特征作为参照;
2. 建立基础实体特征: 拉伸、旋转、扫描、混合等;
3. 建立工程特征: 孔、倒角、肋、拔模等;
4. 特征的修改: 特征阵列、特征复制等编辑操作;
5. 添加材质和渲染处理。

在我院的应用中, SolidWorks 软件为三维模型之间的转换和利用提供了较好的数据接口。SolidWorks 软件与 Revit、Inventor 等欧特克平台软件可以直接实现数据交换, 也可以通过连接 ANSYS Workbench 等功能将 SolidWorks 模型导入 ANSYS 软件进行有限元分析。

2.2 BIM 三维设计工作应用

早在 2011 年, 我院对全国水利水电行业内的设计、科研单位在三维设计软件的应用上进行了广泛专题调研, 综合比较后最终引进 SolidWorks 软件, 并成立三维设计小组, 率先在金属结构专业进行了三维设计应用, 在多个工程应用实践中取得并积累了实质性成果。

2.2.1 闸门

闸门构造种类繁多，平面滑动闸门、平面定轮闸门、弧形闸门、翻板闸门、横拉闸门等均已实现三维建模（如图 1、2 所示，因设备众多仅举两例）。目前已实现金属结构专业常见的 12 种平面闸门（定轮闸门和滑动闸门）已经实现三维参数化建模，并可将三维模型与计算书无缝对接并联动生成二维工程图^[4]。SolidWorks 模型也可通过建模分析一体化功能导入 ANSYS 软件进行有限元结构分析。

对于结构、布置形式、启闭运行操作等较为复杂的闸门，金属结构专业可利用 SolidWorks 软件进行三维动画展示与运动仿真，更加形象直观地将设计意图传递给业主，提高了可视化程度与沟通效率。

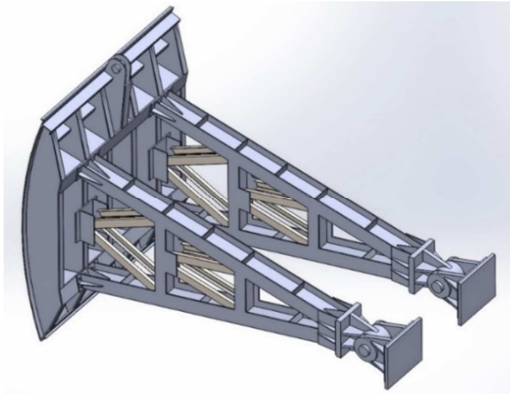


图 1.弧形闸门三维模型

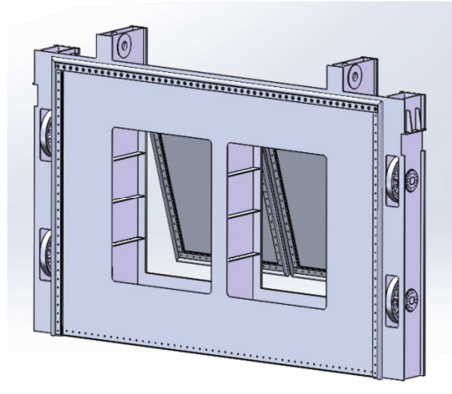


图 2.带拍门工作闸门三维模型

参数化设计即将模型中的定量信息变量化，利用 SolidWorks 软件内置方程式定义各零部件尺寸约束和几何约束等关系，利用内嵌 excel 表格对模型参数变量进行配置设计，驱动数据表自动生成门叶结构和零部件，如图 3、4 所示。然后利用参数化模型制作二维工程图，通过适当的视图表达和尺寸标注等操作生成施工图深度的二维工程图纸。门叶结构尺寸标注、材料明细表统计等工作量繁重且易出错，基于三维模型中闸门各零部件尺寸、材质、重量等特性参数的定义，SolidWorks 二维工程图能够自动集成统计各特性参数，并按照自定义的明细表格式输出到工程图中，如图 5、6 所示。

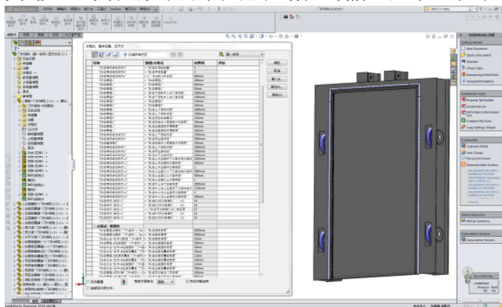


图 3.闸门模型驱动方程式

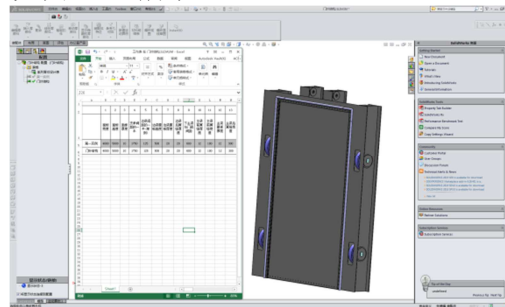


图 4.参数化闸门模型

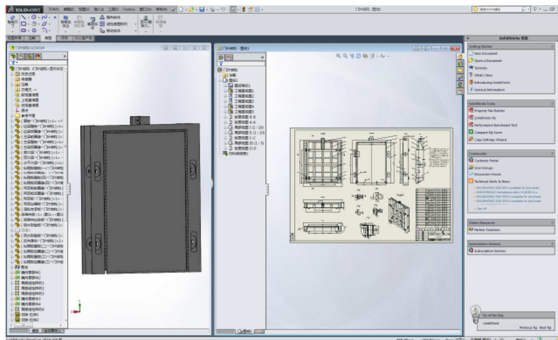


图 5.三维模型联动生成二维工程图

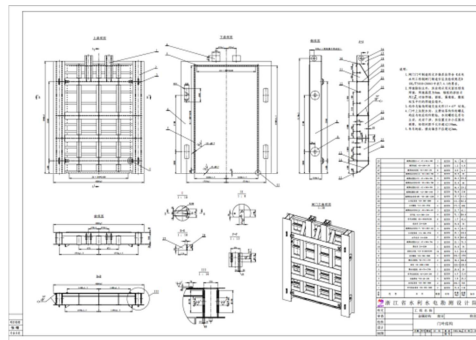


图 6.门叶结构二维工程图

SolidWorks 三维模型可以快速导入到 ANSYS 软件中进行有限元模型分析^[5]，闸门门叶多为梁板结构，且设置大量补强板、构造孔，结构复杂，建模分析一体化功能避免了有限元计算过程的二次建模工作量，且实体三维模型有限元分析结果更加接近实际荷载约束和应力、位移状态，提高了设计计算效率和计算精

度。

2.2.2 启闭设备

常见水工金属结构启闭设备有卷扬式启闭机、液压式启闭机、螺杆式启闭机、电动葫芦、台车式启闭机、门机、桥机等，亦均实现三维建模，如图 7、8 所示。

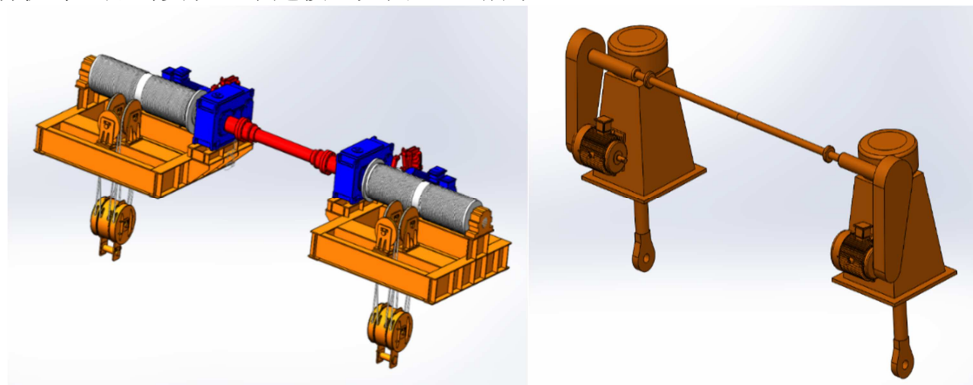


图 7.固定卷扬式启闭机三维模型图 8.螺杆式启闭机三维模型

2.2.3 清污设备

常见清污设备有回转式格栅清污机、抓斗式清污机、皮带式污物输送机等也已实现三维建模，如图 9、10 所示。

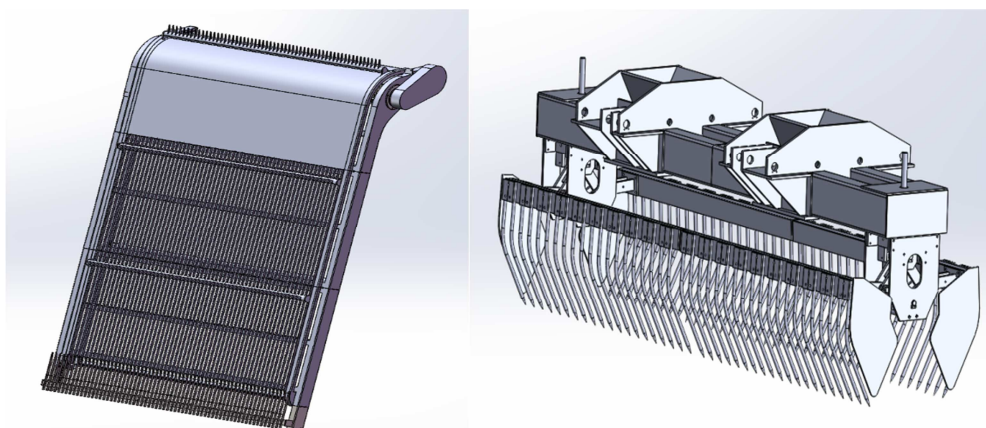


图 9.回转式格栅清污机三维模型图 10.抓斗式清污机三维模型

2.2.4 压力钢管

SolidWorks 软件具有曲面设计和钣金设计等功能^[3]，水电站或引水工程压力管道系统中的钢岔管、弯管、锥管等异型管可利用二维体型图进行三维建模，通过全数字驱动和定位约束功能产生三维线型或曲面，展开并生成各单个管节的放样坐标参数表，相较于传统作图法、公式计算等方法展开更加直观、可靠，一定程度上提高了展开效率和准确性，如图 11、12 所示。

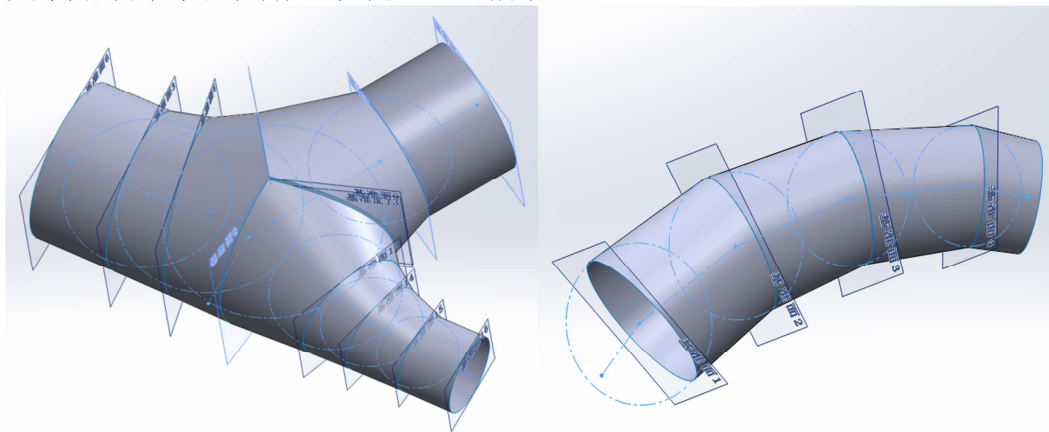


图 11.钢岔管三维模型图 12.异径弯管三维模型

3 金属结构 BIM 三维协同设计

我院 BIM 应用实施以欧特克公司 Revit 系列软件为三维协同设计平台,金属结构设备以及水工、地质、水力机械、电气、建筑等专业模型基于统一轴网、原点坐标系在 Revit 中统一,形成一个全专业的完整模型,各专业在建模过程中可将相关专业模型链接至本专业模型中进行配合检查^[6],以提前发现设计和配合中的问题,及时修正并完善模型,提高设计质量。利用 Revit 系列软件 Navisworks 将各专业整合后 BIM 模型进行碰撞检查,以实现自身及专业之间的模型碰撞自动检测,并出具相应碰撞报告以便设计人员及时进行修改和反馈。

为积极推进并配合三维协同设计工作,我院金属结构专业多次展开三维设计交流分享活动,研讨并落实本专业三维协同设计推广应用、工作目标和具体实施方案。我院三维协同设计正式启动以来,金属结构所配合水工专业相继完成了一系列国内、国外水利水电工程的三维建模前期配合,充分利用了 SolidWorks 软件优势和已经逐步积累的参数化设计成果,取得了较好的成效,如图 13、14 所示。

三维协同设计配合过程中,金属结构设备采用 SolidWorks 建模,通过三维设计软件 Autodesk Inventor 将模型转化为 Revit 族文件与水工三维模型部分进行配合。金属结构专业模型将根据不同需求提供不同建模深度的三维模型,以适应本专业及配合专业在项目不同阶段、不同深度的三维设计需求。

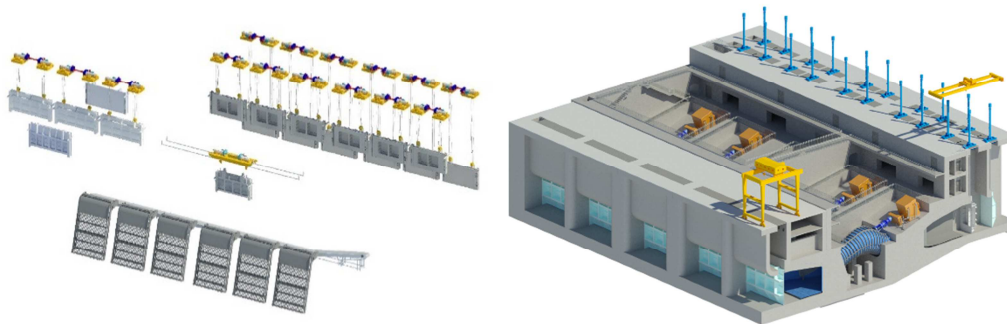


图 13.某闸站金属结构设备汇总模型图 14.某泵站三维协同模型

4 结论及展望

金属结构专业充分利用并发挥 SolidWorks 软件强大的三维造型能力、二维工程图编辑能力及设计表达能力,提高了专业设计效率、设计质量以及可视化程度,参数化建模更是大大缩短了设计周期。三维协同设计的开展与推进是勘测设计单位市场竞争力的有力体现,在院全面启动三维协同设计工作之际,金属结构专业基于已有三维设计基础和研究成果,充分发挥三维设计优势,已经并将继续在以下几个方面进一步推进:

(1) 充分发挥已有的三维设计成果,积极配合院三维协同项目和编制专业标准指导书的同时保持与配合专业间的有效、及时反馈与沟通;

(2) 专业内部做好示范项目的推广、总结工作,并对条件成熟的项目尽可能安排采用三维设计,逐步实现设计人员、设计项目的高比例覆盖;

(3) 进一步发挥三维软件平台设计优势,逐步促成金结各专项设备的标准化、通用化、系列化,实现本专业三维设计的常态化,形成我院闸门、启闭设备的 BIM 族谱;

(4) 逐步在工程实践中推广二维出图应用,并尽快与院相关出图管理系统协调与沟通,以达到透明图打印、归档等管理的流畅解决;

(5) 针对我院三维协同项目配合,金属结构专业将在工程设计建设过程中进一步实践和探索,积极探讨并解决 BIM 设计和三维协同设计配合中的问题。

参考文献

[1] 王彬, 胡强, 周帆冰. 浅谈 BIM 技术在工程中的应用[J]. 低碳世界, 2017(08):161-162.

- [2] 罗琦, 李志阳, 陶海波. 基于 Revit 的三维协同设计平台研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2016(01):59-64.
- [3] SOLIDWORKS 公司 DS. SolidWorks 零件与装配体教程[M]. 机械工业出版社, 2011.
- [4] SOLIDWORKS 公司 DS. SolidWorks 工程图教程[M]. 机械工业出版社, 2011.
- [5] 田文涛, 贺小华. SolidWorks 与 ANSYS 软件数据交换文件应用研究[J]. 现代制造工程, 2008(07):43-46.
- [6] 杨科, 康登泽, 车传波, 等. 基于 BIM 的碰撞检查在协同设计中的研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013(04):71-75.

基于 SolidWorks 二次开发的金属结构参数化研究

郑瓏, 邵飞, 邱南思

(上海勘测设计研究院有限公司, 200434, zhenghuan@sidri.com)

摘要: 参数化技术作为 CAD 的重要技术手段, 可以为水利水电工程 BIM 项目实施提供良好的技术保障。本文主要介绍了一款专用于水利水电工程金属结构设计计算及建模的参数化软件 SHGD (Sidri Hydro Gate Designer) 的技术路线和开发过程。旨在丰富水利水电工程金属结构专业 BIM 设计工具, 缩短设计周期、标准化设计流程。

关键词: 参数化, 金属结构, 二次开发, SolidWorks, BIM

1 引言

一直以来参数化^[1] (Parametric) 是 CAD (Computer Aided Design) 系统所追求的目标, 通过实现参数化能提高设计重用率。通过对于参数化尺寸的驱动, 可以让用户直观的体会设计对象的反馈, 又可以随时进行修改。CAD 技术作为一种设计工具, 其核心目标在于能够帮助工程设计人员更好的服务于工程设计, 能够提出更好、更具有市场竞争力的产品。在水利水电工程 BIM 技术应用中, 参数化设计能够很好的为全设计过程提供技术支持。同时, 实现参数化过程与过去 CAD 注重于结果不同, 其能够以明确的设计参数更好的在设计过程发挥作用。本文主要介绍基于 SolidWorks 参数化功能和二次开发^[2]接口进行的一款服务于水工金属结构设计的参数化建模设计软件。该软件于整个项目 BIM^[3]应用中的位置主要为 BIM 设计工具中的专用设计工具 (图 1)。

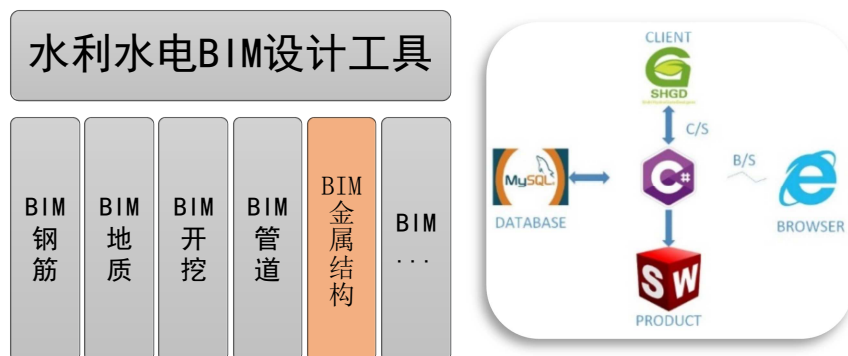


图 1-水利水电 BIM 设计工具分类图 2-开发工具及关联关系简图

2 参数化原理

参数化概念: 参数化设计 (也叫做尺寸驱动 Dimension-Driven)^[4] 是 CAD 技术在实际应用中提出的课题, 它不仅是传统 CAD 技术系统具备交互式绘图功能, 还具有自动绘图的功能。目前该项技术是 CAD 技术应用领域内的一个重要的、且待进一步研究的课题。利用参数化设计手段开发的专用产品设计系统, 可以使设计人员从大量繁重而琐碎的绘图工作中解脱出来, 可以大大提高设计速度, 并减少信息的存储量。

2.1 尺寸驱动

参数驱动机制是基于对图形数据的操作。通过参数驱动机制, 可以对图形的几何数据进行参数化修改, 但是, 在修改的同时, 还要满足图形的约束条件, 需要约束间关联性的驱动手段约束联动, 约束联动是通过约束间的关系实现的驱动方法。对一个图形, 可能的约束十分复杂, 而且数量很大。而实际由用户控制的, 即能够独立变化的参数一般只有几个, 称之为主参数或主约束; 其他约束可由图形结构特征确定或与主约束有确定关系, 称它们为次约束。对主约束是不能简化的, 对次约束的简化可以有图形特征联动和相关参数联动两种方式。由于参数驱动是基于对图形数据的操作, 因此绘制一张图的过程, 就是在建立一个参数模型。

所谓相关参数联动就是建立次约束与主约束在数值上和逻辑上的关系。在参数驱动过程中, 始终要

作者简介: 郑瓏 (1989-), 男, 工程师, 硕士学历, 研究方向: BIM 项目管理、BIM 软件开发, 金属结构, zhenghuan@sidri.com。保持这种关系不变。相关参数的联动方法使某些不能用拓扑关系判断的从动点与驱动点建立了联系。使用

这种方式时,常引入驱动树,以建立主动点、从动点等之间的约束关系的树形表示,便于直观地判断图形的驱动与约束情况。

2.2 信息存储

脱离了手工绘图之后工程制图转向计算机平面绘图和三维绘图阶段,无疑这是一项巨大的进步,但是在进步的同时拷贝复制的方便,删改的简化也带来了海量的图形数据。这部分图形数据是无法直接被计算机分类整理存放的,也无法查询获得,只能以电子版图纸型式存放于计算机硬盘中;由于每个设计者的设计思路、习惯、绘图规则也不完全一致,造成了很多结构功能大体相同局部处理细微差别的图纸。而实现了参数化建模的模型文件,在利用模型实现了描述对象的主约束与次约束后所有不同结构尺寸的具体尺寸信息仅以一行数据存储于数据库中,以关键尺寸作为查询条件将数据调用至参数化模型中从而实现不同结构尺寸的特征表达。

在以上过程中数据被规则的存储至模型数据库中,在建立参数化模型的过程中也有有效的对参数的种类进行了整理、分类、命名工作,为实现引入人工智能的自动化设计铺设了良好的数据基础。

3 SolidWorks 二次开发

3.1 SolidWorks API 技术

API (Application Programming Interface) [5]应用程序接口是用来让一款软件和其他软件进行数据交互和通信的通道。由于 SolidWorks 是通用的软件系统,难以满足特定企业的特殊要求,因此很有必要根据企业的设计和业务需求对 SolidWorks 进行针对性的、个性化的二次开发,扩展系统本省功能。

通过二次开发可以实现:①满足企业个性化的需求;②减少重复性设计工作,让代码来完成机械重复性的工作;③让工程师可以集中精力去做创造性的工作;④有效减少手工干预并减少错误;⑤提高设计的自动化、智能化程度;⑥提高企业对市场需求的快速响应能力,并有效降低设计成本和公司运营成本。

3.2 软件开发原理

使用 Visual Studio 2012 作为编译软件,使用 C#程序语言实现对 SolidWorks 2016 及以上版本进行开发。实现 C/S 模式下的二次开发软件“水工平板钢闸门参数化设计 V1.0.0.1”开发如表-1,实现模型库平台搭建,以及软件界面与模型的交互操作任务(图-2)。利用 MySQL 建立数据库存储历史数据,以及进行新参数化数据读写操作。

3.3 基础数据分析

经过汇总收集共获得了 39 套水利工程平面钢闸门及 61 套水电工程拦污栅钢闸门图纸后以及《中小型水利水电工程典型设计图集水闸分册》、《SL/T248-1999 水工钢闸门系列标准——充水阀》等多本相关图册规范后,汇总整理为数据库中 Hydrogate.mdb 下表格文件水利工程闸门数据表、水电工程闸门数据表中。通过分析不同闸门采用的支撑类型,结构类型,启闭设备类型,确立了模型模板库文件的 8 个分类:外购设备、门叶结构、主支撑、侧向支撑、反向支撑、充水阀、水封装配、埋件以及小零件库。

3.4 模型库建立

经过已完建工程及参考数据的分析后,明确了平面闸门需要建立的模型库分类以及总件数,归纳为以下两点:①水工金属结构下需要在 BIM 设计应用中建立的模型分为外购设备及闸门部件两个主要部分;②闸门部件又分为门叶结构及其他附属设备(包括门叶结构、水封装配、支撑、充水阀等)。

按照以上模型库分类,一共建立 20 余项参数化模型库,每个模型库里包含一张参数化设计系列表。用户通过交互界面调用时,既可以使用标准系列表中已有的配置特定参数,也可以根据实际需要进行交互设计。

4 项目应用

4.1 某水利枢纽工程全周期 BIM

某水利枢纽泵站总规模为 300m³/s,节制闸闸孔总净宽为 80.0m,船闸部分孔口净宽为 16.0m,沟通长江、新孟河之间的通航。金属结构设备主要分布在枢纽工程的泵站、节制闸、船闸、支河河闸四部分的水工建筑物中。利用参数化软件从项目初步设计阶段起便逐步累积重复利用率较高的升卧门门叶结构、悬臂轮等参数化模型,并实现了参数化模型的反复利用,极大的提升了设计效率和设计的标准化。

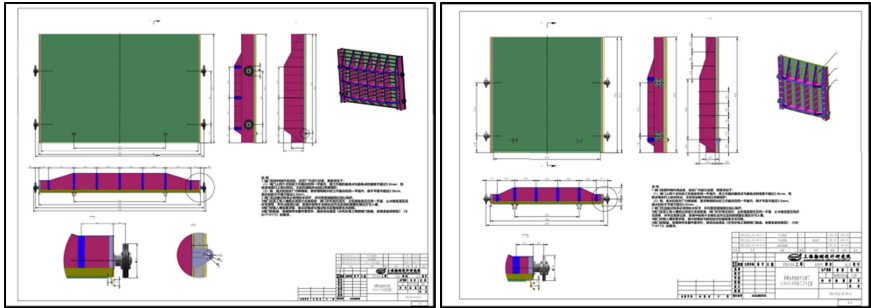


图 3-a 16.0m×10.6m 内闸首升卧闸门总图图 3-b 8.0m×8.0m 支河口门中孔升卧闸门

4.2 某水电站可研设计 BIM

某水电站工程可研阶段金属结构设备的设置与水工建筑物的布置相对应，由泄洪冲沙系统和引水发电系统两部分组成。泄洪系统由泄洪闸和冲沙闸组成，位于主河道，泄洪闸为 3 孔、冲沙闸为 2 孔。引水发电系统由取水口、排砾廊道、漏斗沉沙池、取水涵洞、引水隧洞组成，位于河道左岸。电站金属结构设备分布于泄洪冲沙系统及引水发电系统中，共计闸门（含拦污栅）17 扇，埋件 20 孔，启闭机械 15 台（套）。经过分整理，除泄洪冲沙系统两扇弧形闸门门叶结构及水封外，其余平面闸门全部使用参数化软件 SHGD 进行辅助设计，可研阶段迅速精确的完成了电站的 BIM 设计工作。

表 1 某水电站参数化应用项目统计表

序号	金属结构项目	SHGD 应用项目					
		外购设备	门叶结构	主支撑	反向支撑	充水阀	水封装配
1	泄洪闸-上游检修闸门-14.0×12.0-20.0m	×	○	○	○	×	○
2	冲沙闸-检修闸门-6.0×5.0-20.0m	×	○	○	○	○	○
3	取水口-检修闸门-8.0×4.0m	×	○	○	○	○	○
4	取水口-工作闸门-8.0×4.0-18.0m	○	○	○	○	○	○
5	排砾廊道-检修闸门-1.0×2.0-20.4m	○	○	○	○	×	○
6	排砾廊道-工作闸门-1.0×2.0-20.4m	○	○	○	○	×	○
7	沉沙池-取水涵洞工作闸门-7.0×4.5-18.0m	○	○	○	○	○	○
8	引水隧洞-工作闸门-8.0×4.5-18m	○	○	○	○	○	○
9	沉沙池-排沙洞工作闸门-2.0×1.5-0.985m	○	○	○	○	×	○

注：○表示成功运用×表示无此项应用

4.3 经济性分析

参数化建模以及交互界面的积累达到一定的程度时，随着使用频率的上升，我们会发现完成工作的整体效率也会产生变化。形成第一个参数化模板的固定成本，在一次次的被调用过程中逐渐的累积到了经济价值，使得整体的效益达到提升。在这个模型里面可以看出来为了扩大效益，主要的两个方面是压缩固定成本和产生更多的收益。所以提升参数化建模过程技能和应用产品的推广是两个努力的方向。



图 4-a 软件登录界面图 4-b 水工钢闸门模型建立

5 结语

5.1 参数化的优势

在产品实现参数化建模后，主要解决的问题有 2 个方面：①结构相似，组成部分大致相同的设备和结构可以有效的形成产品组，避免因设计人员因为局部的设计思路不一致，产品能够有效的进行更新换代的迭代；②参数化使得模型的修改变得十分简便易于操作，有效的缩减了设计人员投入在建模上的时间，能够将精力更多的专注于设计。软件实现界面化（图 4-a、b）主要解决：①参数的分类问题以及对参数的解释和标注问题，实现了操作的易用性改善用户体验；②实现模型库文件的集中管理，可以分类存储和管理；③可以挂接外部程序和窗体对参数的选取进行辅助计算，同时，利用数据库技术以及其他的软件开发技术可以辅助实现接入企业 ERP 等多种功能。

5.2 待解决的问题

参数化实践的过程中存在新旧技术的更新换代问题，而在新的技术被采用的过程中会有反复。作为评判结果的劳动生产率，在技术更迭的时候会在因为技术使用的熟练度问题以及新技术的适用性产生一种新技术的劳动生产率反而低于旧技术的状态，支持和鼓励的措施的不足容易造成技术更新失败。而且在新的技术使用和推广的过程中会发生各种从未遇到的问题，解决方案有可能不像 Autodesk CAD 的问题经过 20 余年的发展后有大量的实践经验可以供查询参考。

参数化系列化实现之后面临的问题：自动化办公软件基于标准算法，在前面参数化的实践过程中进行了筛选，为了保证效率采用的方式是在设计之初便采用参数化理念进行设计并汇总至参数化软件 SHGD。然而，在很多时候一种类型的参数化模型可以实现多个孔口的模型建立，或者是悬臂轮有多种结构型式，实现的时间有先后顺序尽管模型库可以丰富更新，但是需要建立合理的机制实现对新产品研发的激励。时刻紧跟技术发展，要谨防使用过程中固化产品思路不愿意更新创新的情况。

参考文献

- [1] 孟祥旭, 徐延宁. 参数化设计研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 14(11):1086-1090.
- [2] 李向阳. SolidWorks 二次开发的研究[J]. 精密制造与自动化, 2008(2):37-38.
- [3] 何清华, 钱丽丽, 段运峰,等. BIM 在国内外应用的现状及障碍研究[J]. 工程管理学报, 2012, 26(1):12-16.
- [4] 徐卫国. 参数化设计与算法生成[J]. 城市环境设计, 2012(z1):110-111.
- [5] 章双全, 刘敬波, 员一泽,等. 基于 SolidWorks 二次开发的风机塔架参数化设计[J]. 机械制造与自动化, 2015, 44(2):143-145.

BIM 技术在丰宁抽水蓄能电站固定卷扬式启闭机设计中的应用

王新泉、张丛茂胡霜天范国芳

(中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司 100024)

摘要: BIM 技术已经越来越多的应用在水电站设计当中, 本文依托丰宁抽水蓄能电站中固定卷扬式启闭机设计工作, 从专业内部设计、协同设计、施工以及运行仿真模拟多个角度, 研究 BIM 技术在水电站固定卷扬式启闭机设计中的应用。实现了施工图阶段的智能化设计、自动生成计算书、自动统计工程量、安装及运行仿真等工作。通过 BIM 技术应用达到了提高设计效率, 优化设计成果的目的。

关键词: BIM; 固定卷扬式启闭机设计; 智能化设计系统; 协同设计

1 前言

建筑信息模型 (Building Information Modeling, 简称 BIM) 作为一种设计及应用理念和技术, 正受到国内外学者和业界的普遍关注^[1]。我国工程建设行业从 2003 年开始引进 BIM 技术, 目前的应用以设计公司为主, 各类 BIM 咨询公司, 工程管理单位、政府以及行业协会也开始越来越重视 BIM 的应用价值和意义。

BIM 技术具有三大特点: ①三维的参数化: 设施 (建筑物) 物理和功能特性的数字表达, 可以包括几何、空间等物理信息, 还包括空间的能耗信息, 设备的使用说明等功能性信息; ②交互的智能化, 设施 (建筑物) 信息的共享知识资源, 可以在不同专业, 不同利益相关方等之间进行信息的传递与共享; ③支持的阶段化, 为该设施从概念到施工乃至拆除的全生命周期中的所有决策提供可靠依据与信息^[2]。

本文以丰宁抽水蓄能电站工程卷扬式启闭机设计为例, 对 BIM 技术在水电站卷扬式启闭设备设计中的应用进行研究和探讨。

2 工程概况

丰宁抽水蓄能电站地处河北省承德市丰宁满族自治县境内, 规划总装机容量 3600MW, 分两期建设, 一期工程与二期工程装机容量相同, 均为 1800MW。电站枢纽工程由上水库、下水库、水道系统 (一、二期分设)、电站厂房 (一、二期分设)、开关站等组成。上水库位于永利村上游滦河左岸灰窑子沟顶部, 下水库利用滦河干流上已建成的丰宁水电站水库改建而成。根据枢纽布置, 丰宁抽水蓄能电站工程卷扬式启闭设备主要布置在上水库进/出水口、下水库进/出水口以及泄洪放空洞等部位。丰宁抽水蓄能电站工程设有卷扬式启闭机 28 台 (套)^[3]。

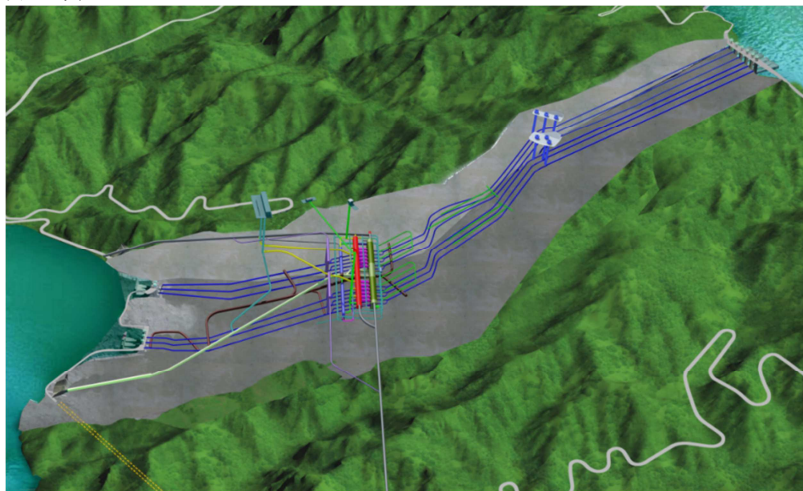


图 1 丰宁俯瞰图

3 BIM 设计平台

在本 BIM 设计过程中,采用 Excel 作为卷扬式启闭机设计的计算平台,采用 Autodesk 公司的 Inventor 作为卷扬式启闭机设计平台,采用 vault 作为协同设计交互平台,采用 3dmax 软件作为协同装配平台。

Excel 办公软件是微软办公套装软件的重要成员之一,它可以进行各种数据的处理、统计分析和辅助决策操作,广泛地应用于管理、统计财经、金融等众多领域。且 Excel 软件支持 VBA 编程,用户可以根据自己的需求进行二次开发,定制特定功能。正是看中 Excel 强大的数据处理、分析功能和便捷的二次开发功能,本文选择以 Excel 软件为平台创建固定卷扬式启闭机智能设计计算系统。

Inventor 是由 Autodesk 公司推出的一款三维可视化实体模拟软件 Autodesk Inventor Professional,因为其具有优秀的外部数据链接机制、完善的工程图和以及便捷的二次开发功能,因此本文的智能三维模型系统选择在 Inventor 软件平台创建。

Vault 平台作为专业的协同设计配合平台,为用户提供可靠的数据集成和访问功能。为满足交互的智能性,Vault 平台具有强大的实时更新、实时交互功能。因为本文选择 Vault 平台作为协同设计交互平台。

3dmax 作为专业的三维设计软件,有丰富的模型库,快速的建模方式和优良的渲染插件及较快的渲染速度,能够在游戏模型、建筑巡游、广告效果图等领域广泛使用。本文采用 3dmax 软件作为协同设计平台。

4 BIM 技术应用

在水电站启闭机设计中主要有启闭设备自身设计工作以及协同相关专业进行的启闭机布置工作。

4.1 BIM 技术在启闭机设计中的应用

北京院金属结构设计部总结多年设计经验建立了卷扬式启闭机智能化设计系统,该智能化系统采用自上而下的建模理念,以 Inventor 软件为设计平台,建立智能化三维启闭机模型,从启闭机顶层设计开始解决专业内干涉问题,辅助以 Inventor 软件自带碰撞检查。

卷扬式启闭机智能化设计系统,其主要内容包括:(1)创建了卷扬式启闭机智能设计计算系统,该计算系统不仅能完成卷扬式启闭机的设计和计算,还能实现设备标准件和外购件的自动选型,自动生成标准件和外购件清单以及三维设计所需的主要参数;(2)创建了智能三维模型系统,实现了三维模型布置型式自适应,使三维模型能够根据设计计算系统的设计参数自动更新,并能根据布置参数如滑轮组倍率、钢丝绳缠绕层数以及钢丝绳压板固定位置自动改变布置型式;(3)创建了固定卷扬式启闭机智能计算书系统,实现了计算书的自动生成。(4)创建了智能设计计算系统与智能三维模型系统和智能计算书之间的数据传导机制,实现了三者之间数据的自动传导,以及各个零部件之间的设计协同;(5)实现了三维模型 bom 表零部件名称标准化并能自动更新,将计算系统生成的标准件和外购件型号自动传递给三维模型文件,实现了工程图中标准件和外购件型号及重量的自动生成。

通过以上五点该三维智能化设计系统可以最大化的实现卷扬式启闭机设计过程的智能化和从输入设计数据到生成计算书和工程图中间过程的“黑匣子化”,即只需在该系统中输入不超过 32 个设计参数,系统即可自动运行,最终生成设计成果工程图和计算书,中间选型、计算、模型生成等过程完全由系统自动完成。系统的功能和流程如图 2 所示。以丰宁抽水蓄能电站上库事故闸门 4000kN 固定卷扬式启闭机设计为例,在输入标书相关输入参数后,生成三维模型如图 3 所示,利用三维模型生成工程图如图 4 所示。

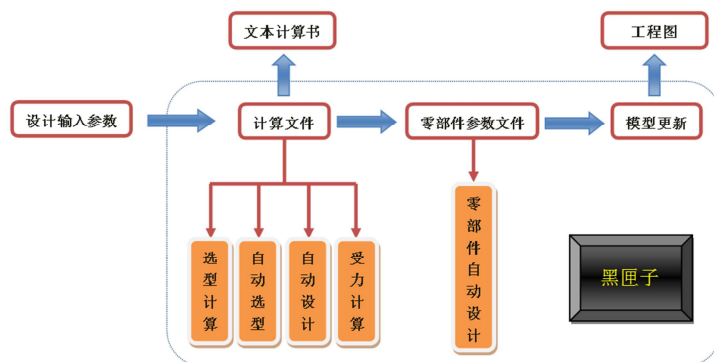


图 2 固定卷扬式启闭机三维智能化设计系统

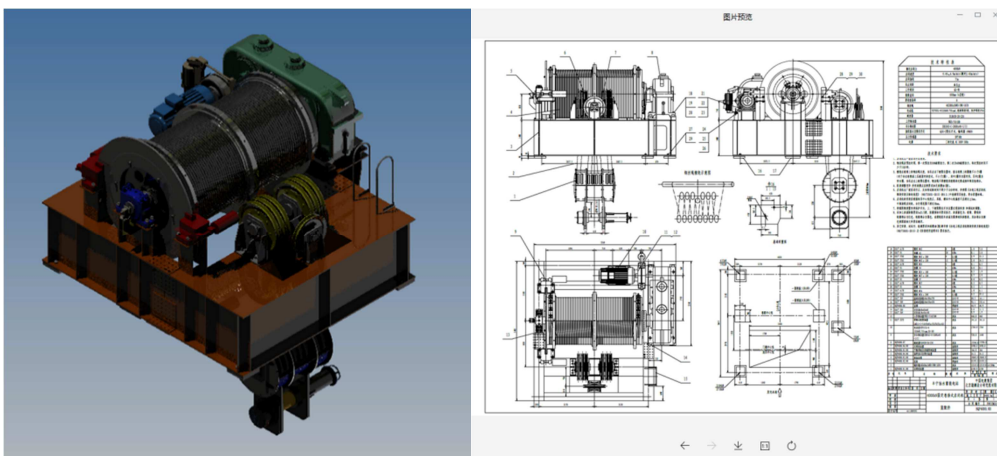


图3 4000kN启闭机模型 图4 4000kN启闭机工程图

4.2 BIM 技术启闭机及相关专业协同设计中的应用

卷扬式启闭机协同设计中, 各专业相互交叉, 专业间设计成果存在设备、设施(包括建筑物)直接碰撞或行人、工作空间不足的可能, 在传统设计方法中, 需要设计人员消耗大量的时间和精力在各专业之间配合的尺寸及预留空间工作上。通过 BIM 技术可以直观的反应各设备、设施(包括建筑物)之间的相互关系, 不仅可以通过软件进行碰撞检查, 检查直接发生的各设备、设施的碰撞情况, 还可以通过模拟设备运行、人员工作的状态达到检查各设备、设施间相互关系是否满足工作需求的目的。

以丰宁抽水蓄能电站上水库事故闸门 4000kN 启闭机设计为例, 设计中需要协同设计的专业主要有水工、机电等专业。专业间配合需要设计人员考虑的问题主要有: 启闭机钢丝绳与启闭机房是否干涉, 启闭机房内行人空间是否不足, 电气柜布置位置是否适当等。这些问题中既有直接碰撞, 也有预留空间不足的问题。

在开始进行金属结构设计时, 水工、机电等专业通过 vault 平台上传水工、机电初步模型, 金属结构专业在平台上同步进行启闭机设计工作。随着各专业设计工作同步推进, vault 平台模型实时更新, 专业配合间发现配合问题可以实时解决。实现了提高工作效率的目的。通过 3dmax 建立三维模型如图 5 所示, 通过 BIM 技术直接进行干涉检查, 未发现直接碰撞, 达到了提高设计效率的目的。



图5 启闭机协同设计成果

4.3 BIM 技术在施工、运行仿真中的研究

BIM 模型可以将卷扬式启闭设备、启闭机房内的开孔、电气柜及启闭机预埋件、检修电动葫芦梁、检修平台栏杆、闸门门楣等设施(建筑物)直观真实的展示, 有利于对设计方案进行深入剖析。目前各抽水蓄能电站越来越要求体现景观功能, 通过 BIM 模型可模拟并调整各设备、建筑物外观的颜色, 提升视角效果。因此, BIM 技术优化设计、提高设计质量; 可以提前对各设备进行配色, 获得良好的用户体验, 提高顾客满意度。

在施工仿真中, 利用 BIM 技术可以根据现场情况通过模拟启闭机吊装及安装过程, 针对模拟结果提前

对启闭机安装过程进行优化指导。丰宁抽水蓄能电站启闭机设备布置模拟如图 6 所示。



图 6 启闭机房布置仿真模拟

5 结论与建议

1、北京院通过 BIM 技术创建了智能设计计算系统，实现了卷扬式启闭机设计分析、参数选择、结构与零部件计算、标准件与外购件选取及清单自动生成，可以高效完成卷扬式启闭机的设计和计算，同时生成三维建模参数。

2、北京院通过 BIM 技术在 Inventor 平台基础上开发了卷扬式启闭机三维模型智能化系统，实现了三维模型结构型式自适应和三维模型依据参数自动更新。

3、BIM 技术实现了卷扬式启闭机设计成果智能输出，省去了设计人员设计过程中查询和输入数据的繁琐工作，保证了数据结果的准确性，优质高效完成卷扬式启闭机设计计算与施工图纸生成，大幅度提高了设计效率。

4、与传统设计方法相比，运用 BIM 技术的协同设计、可视化功能，解决了在传统设计方法中，资料传递不完整、不及时的问题，提高了设计效率，还可以优化设计方案。既可以全局的展示固定卷扬式启闭机设计效果，也可以利用模型完成零件施工图出图工作。

5、利用 BIM 技术可以提前针对设备、设施进行优化、美观，达到了优化设计效果的目的。

参考文献

- [1] 何清华, 钱丽丽, 段运峰, 等. BIM 在国内外应用的现状及障碍研究[J]. 工程管理学报, 2012, 26(1):12-16.
- [2] 郑曦, 陈龙, 邸南思, 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).
- [3] 张丛茂等, 丰宁抽水蓄能电站可行性研究报告机电及金属结构篇。

BIM 专用云平台应用研究

沈国华¹ 徐鹏¹ 许锋²

(1 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏扬州 225217; 2 扬州市勘测设计研究院有限公司, 江苏扬州 225115)

摘要: 本文以 BIM 应用软硬件的需求为出发点, 研究分析了 BIM 应用进程中必然会遇到的软硬件管理、数据安全等问题, 阐述了 BIM 专用云平台应用意义, 简单介绍了本企业 BIM 专用服务器的构建并进行了简单性能测试和测试分析。

关键词: BIM 应用、软硬件、BIM workflow、协同、虚拟、混合云

1 引言

BIM 历史伴随着计算机的发展可追溯至上世纪 60 年代, 计算机技术尚未普及, 工程界的先驱用程序法来解决一些工程问题。至 80 年代, 伴随个人计算机的兴起, 图形化操作界面出现, 计算机辅助设计(CAD)应运而生, 90 年代计算机运算大幅提升使得数字模型兴起, 后续网络技术的兴起, 将 BIM 模型导向云端联机操作时代。

BIM 的突出价值体现之一在于协同, 协同可以提高效率, 减少变更, 使原有的串行的设计、建造和制造过程变为并行或者局部并行。团队多专业协同无疑需要各具功能的软件, 这些软件无疑需要一个强大的硬件作为支撑。从多年的 BIM 实践来看, 在探索研究阶段以图形工作站承载少群集软件基本可以满足要求, 但真正到了实际应用阶段, 即便是图形工作站简单集群都难以满足 BIM 对硬件的要求, 只有整合软、硬件和网络技术, 才能完全满足 BIM 技术的需求, 比如模型的轻量化处理、海量存储、异地协同、远程模型访问与共享等等。

BIM 平台软件是 BIM 应用和运行的基础, 硬件和网络是 BIM 应用和运行的基本架构和架构链接。为了实现 BIM, 一味的砸钱配置高性能的硬件并非明智之举, 注重虚拟化应用, 将软硬件综合起来考虑决策, 合理运用网络技术及云技术等公共资源, 将企业投入和社会投入结合起来, 制定适合企业的 BIM 软硬件的投资策略, 才是构架 BIM 平台的必由之路。

2 BIM 专用云平台应用意义

2.1 为 BIM 的应用提供软硬件环境

通过“工作集”的方式来实现 BIM workflow 是目前 BIM 技术中常见的协同模式之一。“工作集”协同模式是指在局域网络环境下由项目管理者建立工作集并设置权限, 将工作集保存于服务器共享文件夹中, 项目参与者安装于本地图形工作站上 BIM 软件(比如 Revit)访问工作集并进行协同操作。BIM 系列软件对计算机硬件性能要求高, 且分散式软件布置无疑加大了项目协同期各参与者对软件管理负担, 项目参与者严重依赖携带不方便的图形工作站参与协同操作, 无法实现异地协同, 无法实现远程终端及移动终端的数字化展示和交付。

云平台采用集中式或者分布式布置将服务器构架在网络上, 依靠高性能硬件设备与底层管理软件及集中式部署的应用软件, 为客户提供一个高效数据共享软硬件环境。将 BIM 系列软件集成在云端, 项目参与者在 PC 端通过登录项目管理者在云端的授权进入项目协作环境, 使用预设了标准化项目模板的 BIM 软件, 参与项目的即时协同工作, 实现项目参与者“如同在一间办公室工作”的状态, 摆脱对 PC 端软硬件的依赖, 即使身处异地也可以实现协同工作。当然, 显而易见, 网络所能提供给诸方项目参与者的一些功能(比如方案展示、设计成果交付等)使 BIM workflow 更加顺畅。

2.2 节约企业 IT 软硬件成本

随着 BIM 技术在建筑、交通等基础设施行业中逐渐的应用的深入, 系列软件的功能与复杂程度逐渐升级, 对计算机设备性能的要求也与日俱增, 配置一台低端实用型图形工作站需要数万元, 一台高端图形工作站需要数十万元, 而且硬件更新淘汰周期较短, 硬件设备投入大, 软件的维护和硬件更新负担重。

云平台服务器的工作模式沿袭了传统服务器的工作模式, 又将传统模式进行了拓展。它的工作机理

作者简介: 沈国华(1970-), 男, 江苏南通人, 高级工程师, 主要从事水工金属结构和基于信息模型的水利工程设计。

大致如下：通过底层管理软件对高性能硬件资源进行分配和管理，用软件虚拟出多台 PC，将应用软件派送到虚拟机环境内供用户使用。这种工作模式将零散的 PC 端软、硬件管理汇集到服务器端进行统一管理，建立虚拟化资源分配策略，支撑多用户并发 3D 协同设计进程。这种崭新云平台模式具有软硬件管理维护方便，设备更新周期较长，客户端硬件要求低等优点，可显著降低企业在 IT 软硬件投入与软硬件维护成本。

2.3 达成标准化协同

标准化的软硬件环境是实现协同的前提，为了实现各专业间的数据能顺畅地互相交流协同，操作人员要求在同个数据库上工作，云平台可以为企业提供了一个标准化的使用环境，所有登录云端的用户将在同一个环境下应用相同版本的 BIM 系列软件进行协同工作。同时，它使企业针对自己的行业范围和业务特点，制定一套标准化模板，将生产活动规范化和标准化。对外可以提供高质量的产品及其展示，对内可以提高工作效率、缩短员工培训周期，实现协同与标准化有机结合。

2.4 保证数据安全与稳定

BIM 数据作为企业核心技术数据之一，让企业必需要更加慎重的对待我们的 BIM 数据，传统桌面环境下，由于用户数据都保存在本地 PC，使用者行为难以约束，各图形工作站的端口难以管控，泄密途径众多，且容易受到各种网络攻击，导致企业数据安全存在很大隐患。专用混合云平台的终端与数据分离，将信息存储到云端，在云端进行数据的处理（计算、渲染、生成三维模），本地终端只是显示设备，无本地存储，所有的桌面数据都是集中存储在企业数据中心并设置了存储策略和访问权限，显然，企业的智力资产又多了一层保护网。此外，云服务器磁盘阵列、映射备份技术，可以快速、方便地集中备份/恢复用户数据，这些无疑增强 BIM 数据的安全与稳定。

3 BIM 专用混合云平台构建

3.1 概况

云的形态通常有三，公有云、私有云、混合云。混合云融合了公有云和私有云，是近年来云计算的主要模式和发展方向。绝大多数企业出于竞争与安全考虑，企业更愿意将数据存放在私有云中，但是同时又希望可以获得公有云的资源的功能，在这种情况下混合云被越来越多人认同，它将公有云和私有云进行混合和匹配，达到了既省钱又安全的目的。

目前，市场上众多 IT 厂商推出针对设计企业基于 BIM“云计算”网络应用的解决方案主要以存储层、基础管理层、应用服务层、应用接口层和访问层为基础构架（图 1），依托数据库、HP、IBM、华为、联想等软硬件供应商支持，在云端配置部署 BIM 应用所需的高性能图形处理、数据处理、存储设备及相关 BIM 软件，通过网络将 IT 基础设施与云桌面应用整合起来，实现 IT 基础设施尤其是服务器资源的共享，所有 BIM 数据模型和应用、分析的结果数据集集中在服务器上统一管理，强化对数据安全、知识产权的保护力度，并对个人工作桌面采用虚拟化技术，将云服务架设在个人 PC 上，但不依赖于本地的主要资源（如 CPU、内存、硬盘、显卡），构筑安全稳定的工作环境并提供高效移动 BIM 协同设计支持（图 2）。

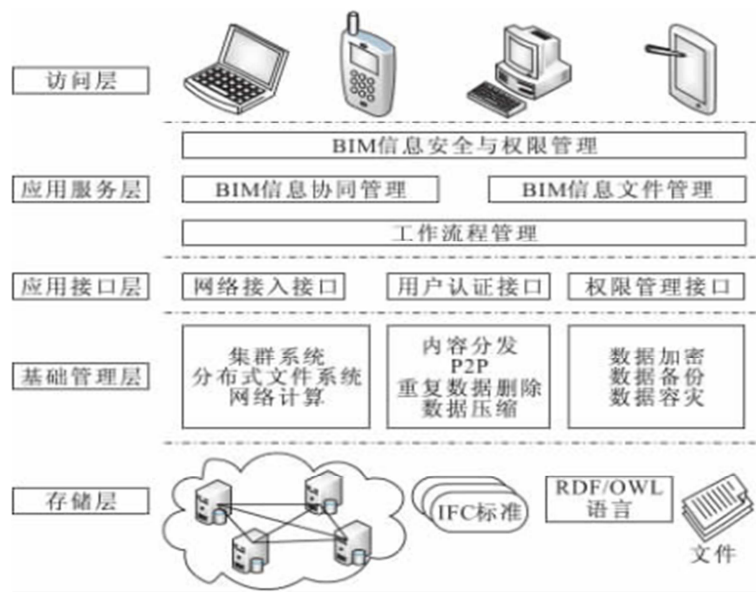


图 1 BIM 云平台框架

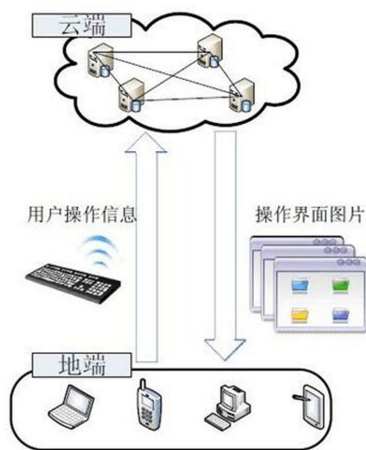


图 2 基本原理

3.2 BIM 云平台选择

经过对市场 IT 企业推出的 BIM 云平台解决方案进行考察与比选，我们选用 HGBC 一体机服务器为企业 BIM 协同设计解决方案，该一体机服务器由四川华建和华为科技联合出品，针对工程设计行业 BIM 应用专门打造的混合云平台解决方案，此云平台市场运用较为成熟，有多家设计单位采购使用，如中南集团、无锡市政设计研究院有限公司及南京大学建筑规划设计研究院有限公司等。以 HGBC 为架构的 BIM 云平台架设方案如图 3 所示，软、硬件技术参数如表 1 所示。

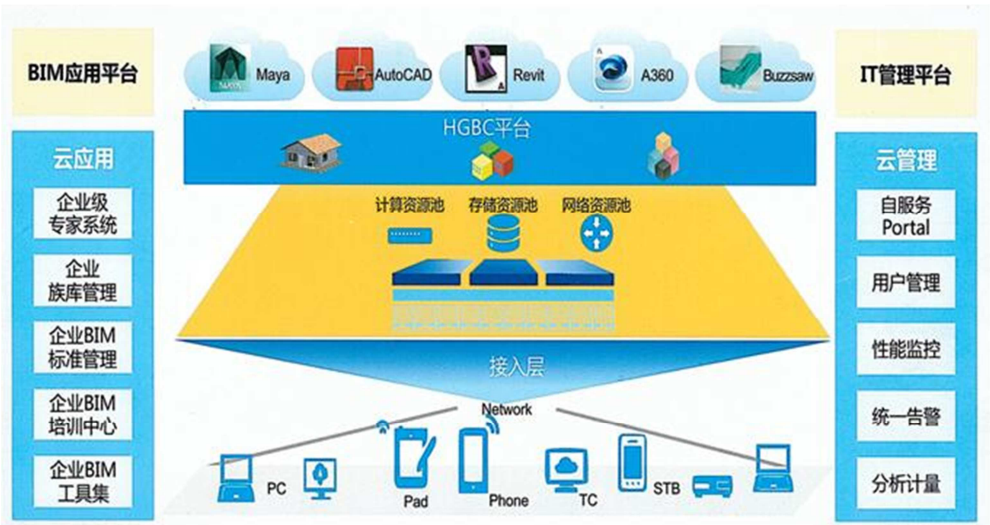


图3 以HGBC为架构的BIM云平台架设方案
表1 HGBC v3-16D 一体机产品技术参数

系统性能规格指标	
处理器	2*Intel® Xeon ®E5-2667 v3-8Core
内存	320G
显存	NVIDIA GRID K260Q 8G
本地存储	4.8T
网络接口	4 个 GE 电口，支持 NCSI 功能，支持 WOL 和 PXE
iBMC 管理模块	提供 SOL、远程 KVM、远程开关机等丰富管理功能
软件规格指标	
HGBC 云平台	16 个 BIM 并发用户授权
HGBC 族库	提供>1000 个 BIM 族库文件
HGBC 智库	提供>1000 条 BIM 智慧数据
HGBC 自主管理平台	支持 16 用户数自助申请硬件资源使用权
运维方式	提供通过 Web 的软硬件统一管理
移动接入	支持 IOS、Android 等移动终端接入

4 HGBC 云服务器测试

4.1 测试目的

本次测试的主要目的是通过对实际工程项目的渲染测试，了解掌握 HGBC 的硬件性能及工作机制能，同时与公司采用的单机图形工作站进行性能比较，为今后公司开展 BIM 软硬件升级提供依据、积累经验。

4.2 测试环境

HGBC 一体机与联想工作站环境、配置数据如表 2、表 3：

表 2 HGBC 一体机与联想工作站环境对照表

	华为 HGBC 云平台	联想工作站 S30
系统软件	Windows7 64 位	Windows8.1 64 位
处理器	2*Intel® Xeon ®E5-2667 v3-8Core 3.60GHz	Intel® Xeon ®E5-1620 3.60GHz
内存	320G	8G
本地存储	HDD 8*600G 磁盘阵列模式：RAID1、RAID5 接口类型：SAS	SSD 128G+HDD 1T 接口类型：SATA3.0
显存	NVIDIA GRID K260Q 8G	NVIDIA GRID K2000 2G
测试项目模型体量及文件格式	杨庄闸.rvt 45.2M	杨庄闸.rvt 45.2M

测试软件版本	Revit2016	Revit2016
渲染质量等级	最佳	最佳
测试输出分辨率	1470*963	1470*963
网络带宽	100M（局域网带宽）	单机环境

表 3 联想图形工作站 S30 与华为 HGBC 虚拟机 CPU、主板和显卡配置对照表

硬件信息名称	联想图形工作站 S30	华为 HGBC 虚拟机
处理器	Intel® Xeon ®E5-1620	Intel® Xeon ®E5-2667
速度	3.60GHz 四核	3.60GHz 双核
核心代号	3.60GHz	3.20GHz
生产工艺	Sandy Bridge E	Haswell_E
一级数据缓存	32 纳米	22 纳米
二级缓存	4*32KB, 8-Way, 64bty lines	2*32KB, 8-Way, 64bty lines
三级缓存	4*256KB, 8-Way, 64bty lines	2*256KB, 8-Way, 64bty lines
主板型号	10MB, 20-Way, 64byte lines	2*20MB, 20-Way, 64byte lines
芯片组	联想 NO DPK	Red Hat
BIOS	英特尔 Xeon E5/Core i7	英特尔 82440/1FX 440FX
BIOS 大小	联想 A2KT31AUS	Xen 4.1.2_115
主显卡	8192KB	64KB
显存	NVIDIA GRID K2000	NVIDIA GRID K260Q
	2G	20G(320G/16)

4.3 测试方法

1、设置 HGBC 配套虚拟桌面管理软件 FusionCompute、FusionAccess，将服务器资源按照 2、4、8、16 等分配制，用 1/2,1/4,1/8,1/16,这四种规格的虚拟机，对相同的 BIM 模型（杨庄闸 BIM 模型）进行渲染时间测试，并将这些结果与工作站对相同模型的渲染时间进行对比。

2、用公测软件（鲁大师）对随机抽取 3 台 1/16 虚拟机和随机抽取 3 台图形工作站的主要硬件测试数据进行对比。

4.4 测试结果

4.4.1 渲染时间测试结果

1、HGBC 虚拟机硬件配置（CPU:E5-2667 3.2GHz 双核）及渲染时间如表 4：

表 4 HGBC 虚拟机硬件配置（CPU:E5-2667 3.2GHz 双核）及渲染时间

虚拟机分配组合（台）	内存（G/台）	显存（G/台）	显卡分配模式	杨庄闸工程渲染时间（多台并发平均渲染时间）				
				1 台	2 台	4 台	8 台	16 台
2	128	2	K260q（1:2）	47 分 45 秒	58 分 45 秒			
4	64	2	K260q（1:2）	1 时 2 分		1 时 29 分		
8	32	1	K240q（1:4）	56 分 19 秒			2 时 33 分	
16	16	0.5	K220q（1:8）	1 时 15 分				5 时 31 分

2、联想工作站配置（CPU:E5-1620 3.6GHz 四核）及渲染时间如表 5：

表 5 联想工作站配置（CPU:E5-1620 3.6GHz 四核）及渲染时间

渲染台数（台）	内存（G/台）	显存（G/台）	杨庄闸工程渲染时间
1	8	2	45 分 10 秒

4.4.2 公测软件硬件测试结果

联想图形工作站 S30 与华为 HGBC1/16 虚拟机硬件性能测试得分对比表（鲁大师软件检测）

检测硬件	联想图形工作站 S30				华为 HGBC 虚拟机			
测试机	检测机 1	检测机 2	检测机 3	平均得分	检测机 1	检测机 2	检测机 3	平均得分
处理器性能	73619	72778	71991	72796	85033	95735	100927	93898
显卡性能	23965	24031	23945	23980	37149	37148	37155	37151
内存性能	9618	9018	9309	9315	9663	9642	9627	9644
磁盘性能	8550	8490	8520	8520	12840	12930	12420	12730
综合得分	115752	114317	113765	114611	144685	155455	160129	153423

4.5 测试结果分析

(1) 云平台虚拟机的渲染时间与硬件配置及虚拟机并发数有密切关联。

根据表 4 的渲染测试结果,可以看出虚拟机,随着内存、显存分配的减少,渲染所需时间相应增加;相同等分配下,随着虚拟机并发数量增加,渲染所需时间相应增加。

对分配,即将服务器配置成两台虚拟机,单台虚拟机的渲染时间为 47 分 45 秒,两台并发渲染时间为 58 分 45 秒,4 分、8 分、16 分虚拟机的单台及并发渲染时间见表 4。这种配置下,单台虚拟机的渲染时间比工作站的渲染时间慢约 2 分 35 秒,两台并发渲染时间比工作站慢约 13 分 35 秒。

渲染时间与 CPU、硬盘速度、显卡芯片处理能力、显存大小与速度、内存大小等诸多因素有关。本次测试限于条件,未能测试网络带宽对渲染时间的影响。

(2) 从公测软件(鲁大师)对工作站和 1/16 虚拟机的测试结果看,服务器的 CPU、显卡、内存、磁盘等主要硬件的性能数据均大于工作站对应的数据。服务器 1/16 虚拟机的综合性能参数比工作站高 33.86%。

5 结语

BIM 专用云部署是系统性工程。它包括软件、硬件、网络、运维管理四大元素。管理员可以通过底层软件来灵活地调整分配云服务器资源,部署个性化的软件环境。值得注意的是应避免硬件和网络方面存在瓶颈,否则会造成资源浪费。

在建筑行业,企业级 BIM 专用混合云有不少企业开始架设使用,水利行业中运用较少,但在水利建设信息化潮流推动下,这一信息化技术必将有广阔的发展前景。水利设计企业迫切需要加快技术革新,尽早切入协同设计模式,提升企业市场竞争力,因此,我们必须整合软硬件网络资源,为企业的蓬勃发展铺开创新局面。

参考文献

- [1] 李云贵.BIM 软件与相关设备[M].北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [2] 卡伦.M.,肯赛克.BIM 导论[M].北京:中国建筑工业出版社.
- [3] 何关培.BIM 总论[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [4] 菲尼斯.E.杰尼根.大 BIM 小 BIM (原著第二版) [M].北京:中国建筑工业出版社,2017.
- [5] 青岛英谷教育科技股份有限公司,云计算与虚拟化技术[M].陕西:西安电子科技大学出版社,2018.
- [6] 王仲刚.服务器虚拟化技术与应用[M].北京:人民邮电出版社,2018.
- [7] 徐保民,李春艳.云安全深度剖析:技术原理及应用实践[M].北京:机械工业出版社,2016.
- [8] ThomasErL, Zaiham Mahmood, Ricardo Puttini.云计算:概念、技术与架构(英文版) [M].北京:机械工业出版社,2014.
- [9] 李艳鹏,可伸缩服务架构:框架与中间件[M].北京:电子工业出版社,2018.
- [10] 李艳鹏,杨彪.分布式服务架构:原理、设计与实践.北京:中国工信出版集团&电子工业出版社,2017.

基于 CATIA 的水工钢闸门骨架关联设计

余迎宾，贾刚

(中国电建集团成都勘测设计研究院，四川成都 610072)

摘要：关联设计是 catia 三维设计的重要手段，参数化关联在解决单一系列化零件比较方便，而对于多层级复杂模型，采用骨架关联可以有效管理各零部件之间关联关系。本文介绍了基于骨架关联的水工钢闸门设计方法及建模思路，规定了水工钢闸门模型文件的命名原则。创建的骨架关联模型具有良好的数据层次结构，良好的可修改性，建模效率高。总结了采用骨架关联设计方法进行闸门建模设计的优点。

关键词：骨架关联设计；骨架元素；CATIA；发布；钢闸门

1 引言

CATIA 是全球主流的综合 CAD/CAM/CAE 软件，代表了机械设计 CAD 软件的先进技术和广泛应用。利用 catia 进行三维设计，一般有自底向上建模和自顶向下建模两种不同设计方法。自底向上建模是先设计零件，再做装配设计，自顶向下是先设计装配，再做零件设计。本文介绍自顶向下的基于骨架关联的水工钢闸门设计方法，所谓骨架，是指用作支持建模对象的结构、基础或轮廓的支架，在这里为整个数据组织的核心结构，所有数据都基于某一个特定的数据进行参考。关联设计是指在 CATIA 中使用发布的元素进行几何建模的一种方法。采用骨架关联设计方法，结构设计人员能够避免父子关系错乱造成模型无法修复生成的建模顺序的弊端，且可以简单的依靠调整骨架定位的参数和关系参数实时更改模型。

2 骨架关联设计相关准备

2.1 选项设置

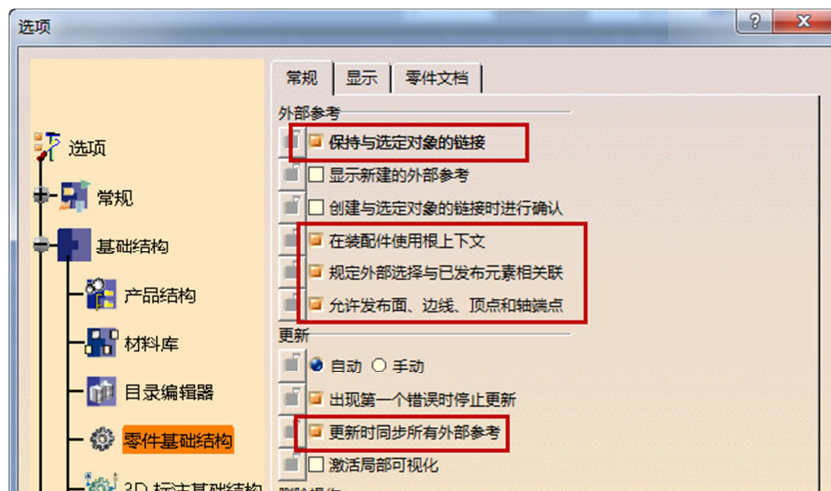


图 1 关联设置选项

2.2 文件命名原则

文件命名一般按如下原则进行，

- 1) 使 CATIA 文件获得唯一储存标识 (PartNumber、文件名)。
- 2) 便于共享、可识别和使用。
- 3) 在保证设计需求的情况下，减少数据的冗余。
- 4) 便于追溯和进行版本的有效控制。
- 5) 便于识别同一零部件模型的不同状态。
- 6) 文档名称与零件号 (PartNumber) 名称一致。

基于上述原则，我公司金属结构三维设计制定如下命名规则：

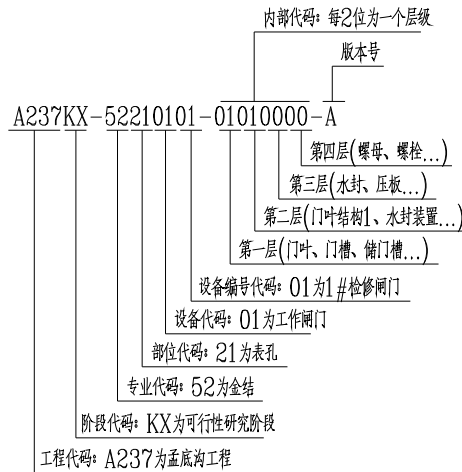


图 2 结构树命名原则

工程代码：4 个字符，按我公司项目编码查用。

项目阶段代码：2 个字符，按预可、可研、招标、技施等设计阶段。

专业代码：2 个字符，金结专业的专业代码为“52”。

部位代码：2 个字符，按闸门所在水电站枢纽中的部位进行代码编制。

设备代码：2 个字符，按闸门门型及功能进行代码编制。

内部代码：8 个字符，每 2 个字符代表一个层级，合计 4 个层级。

2.3 骨架模型驱动方式

按照自顶向下的设计方式，特征之间、几何体之间、零件之间、装配之间的各种联系为树状结构，由骨架元素进行发布，各零部件引用发布元素为基础进行设计，驱动是单向的，可避免循环设计。通过修改骨架元素来更新模型。各装配之间通过骨架元素的关联来实线关联。

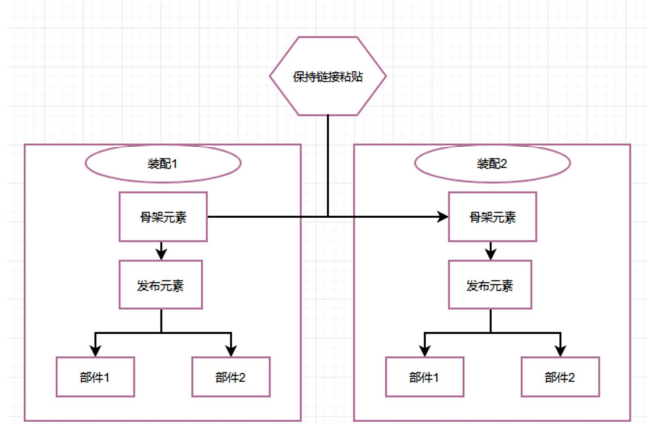


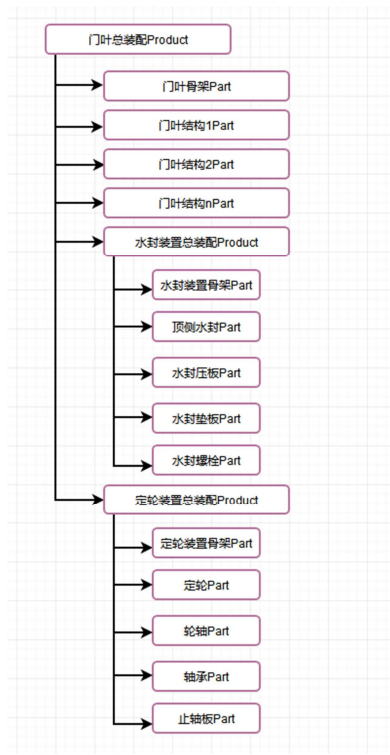
图 3 骨架模型驱动方式图

3 闸门门叶骨架关联建模方法

3.1 规划门叶装配的层级关系

闸门建模前，先规划好个装配及零件的层次关系，并以标准化的文件命名原则进行命名。

门叶装配的结构树型式，平面闸门的门叶为 **Product**，其下第一个零件为总骨架零件，存放闸门的门叶总体骨架元素。门叶总装配包括门叶结构、子装配（水封装置、定轮装置、滑道装置、铰链装置等）。子装配下的第一个零件也为骨架零件，用于存放本装配的骨架元素，当用到门叶总骨架零件中的元素时，可通过保持链接方式的粘贴至子装配骨架零件中。平面闸门的门叶典型的模型层级关系见图 3。



3.2 门叶骨架零件的创建

一般把装配下的第一个零件作为骨架零件，其命名为 PFM_XXXXXX（XXXXXX 为本装配的零件号）。骨架元素包括影响整扇闸门的定位基准面，梁系位置面，子装配安装定位基准面等。为便于符合闸门模型方位与实际对应的习惯，作如下规定：竖直向上为+Z，水流方向+Y，向右为+X。见图 4。

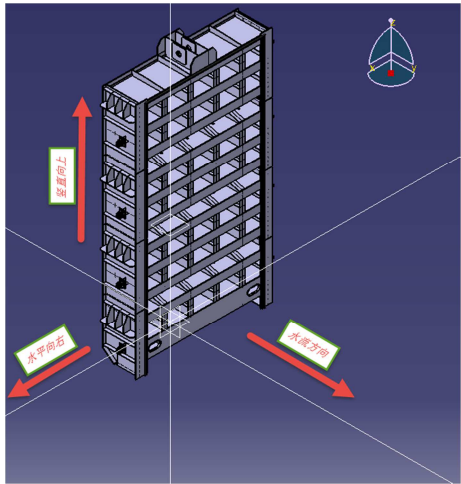


图 4 坐标轴方向的规定

门叶总装骨架零件中的元素一般包含（但不限于）以下内容：

基准平面：底槛平面为 XY 平面偏移 0mm，面板面为 XZ 平面偏移 0mm，孔口中心平面为 YZ 平面偏移 0mm。此三个平面确定了闸门在定位基准。由此三个平面相互相交产生三条直线，作为三个方向的参考。

厚度方向平面：以面板面为基准依次建立面板外侧面、面板内侧面、水封座板平面、滑道座板平面、主梁后翼缘平面等闸门厚度方向平面。

宽度方向平面：以孔口中心平面依次建立左右边梁腹板中心平面、纵隔板中心平面等。

高度方向平面：以底坎面为基准依次建立面板底缘面、各节门叶结构分节位置面等。单节门叶结构的闸门，建立主梁次梁的位置面。

水封装置骨架：左右侧水封中心平面、顶水封中心平面、水封螺栓孔中心平面、螺栓孔位点阵。

侧轮装置、定轮装置等：安装定位的三个基准面。

子装配的骨架零件如需要引用总骨架中的发布元素，不需要新建，可以通过从总骨架复制并保持链接粘贴过来即可，并再次发布，供本子装配下的零件使用。

3.3 门叶结构零件设计

门叶结构零件设计一般过程：

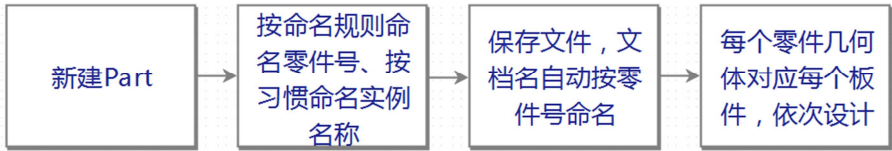


图 5 门叶结构零件设计一般过程

门叶板梁设计的一般顺序：



图 6 门叶板梁设计的一般顺序

对于左右对称的结构，一般规定仅做右侧结构，通过镜像生成左侧结构。整个门叶结构为一零件，各板梁为其下零件几何体。各板梁的位置关联于门叶骨架零件中发布的梁系位置，其截面通过参数化定义。特别的，对于板梁这类典型特征，通过超级副本的方式做成模版，设定典型特征的输入元素使之与骨架零件的发布元素关联，可快速实例化，如图 7。

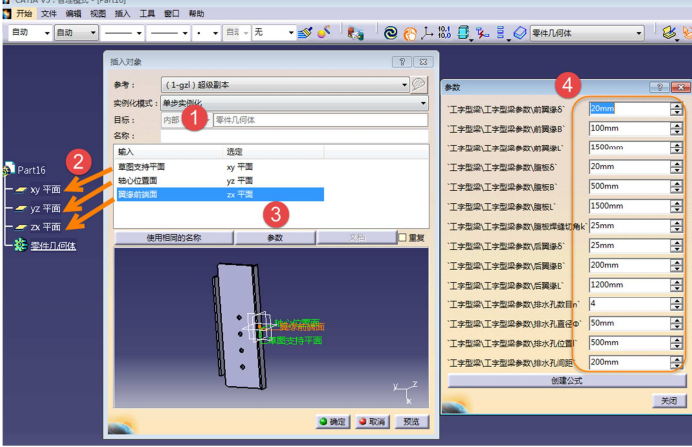


图 7 典型特征快速实例化

4 闸门门槽骨架关联建模方法

4.1 规划门槽装配的层级关系

闸门建模前，先规划好个装配及零件的层级关系，并以标准化的文件命名原则进行命名。

平面闸门门槽为一个总装配，其下第一个零件为总骨架零件，存放闸门门槽总体骨架元素。门槽总装配下包括土建结构、一期埋件、底槛、主轨、副轨、反轨，侧轨、顶楣及相关钢衬等。平面闸门门槽典型的结构树型式见图 8。

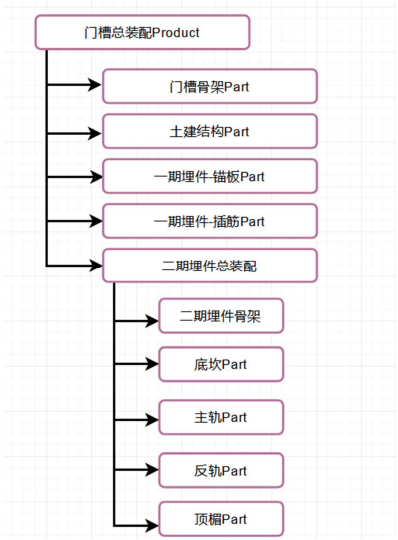


图 8 平面闸门门槽典型结构树型式

4.2 门槽骨架零件的创建

门槽装配下的第一个零件为骨架零件。其命名为 PFM_XXXXXX（XXXXXX 为本装配的零件号）。骨架元素包括影响整套门槽的定位基准面，安装位置面，子装配安装定位基准面等。

门槽总装骨架零件中的元素包含（但不限于）以下内容：

基准平面：底槛平面为 XY 平面偏移 0mm，门槽中心平面为 XZ 平面偏移 0mm，孔口中心平面为 YZ 平面偏移 0mm。此三个平面确定了闸门在定位基准。由此三个平面相互相交产生三条直线，作为三个方向的参考。

顺水流方向平面：以门槽中心平面为基准依次建立上游轨道二期混凝土分界面、下游轨道二期混凝土分界面等。

水流宽度方向平面：以孔口中心平面依次建立左右支承中心平面、左右轨道混凝土分界面、左右水封座板中心平面等。

高度方向平面：以底坎面为基准依次建立孔口高度平面、顶水封座板中心平面、平台高程平面等。

4.3 门槽结构零件设计

门槽结构零件设计一般过程：

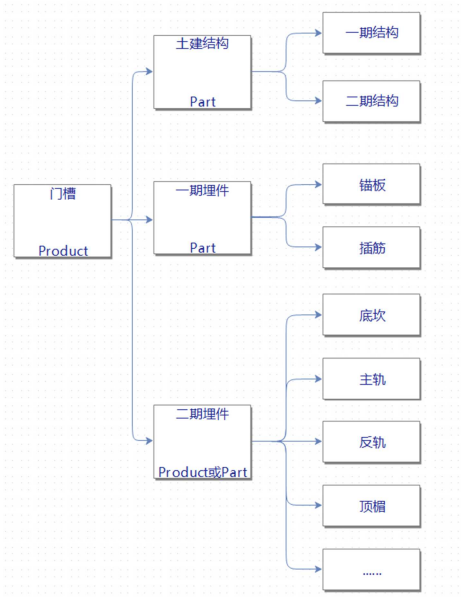


图 9 门槽结构零件设计一般过程

门槽埋件位置关联于门槽骨架零件中发布的元素，其截面通过参数化定义。特别的，对于底槛、主轨、

反轨这类典型零件，可做成零件模板，设定零件的输入元素使之与骨架零件的发布元素关联，以实现快速实例化。

5 结语

采用骨架关联设计方法，有以下优点：

- 1) 采用骨架关联设计，可避免后期的装配约束，且避免装配过程中易产生的循环设计。
- 2) 模型之间的链接关系简单化，大部分链接关系只需要和骨架模型发生关联。
- 3) 所有重要的信息都保存在骨架模型中，在骨架模型中一些重要的约束已经定义，通过这些空间约束在装配模型中来布置相应的子模型。
- 4) 能管理高层次的设计变更，并将这些变更自顶向下的在整个装配模型中进行传递，一旦骨架模型中的设计内容发生变更，所有与之关联的子系统都会发生相应的变更，这样就能够保证设计人员对设计变更的控制；
- 5) 鲜明的骨架驱动方式，零件或子装配引用的元素均为骨架元素，零件相互之间不会反生干涉，删除任何零件对其他零件不会造成影响。
- 6) 骨架模型同时为模板实例化提供关联的接口，特征模板或者零件模板实例化时，通过关联骨架元素即可保证定位。

BIM 技术在乌东德水电站启闭机设计中的应用

邹今春, 赵春龙, 李岗, 赵成, 高杨, 刘剑

(中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司西安 710065)

摘要: 乌东德水电站导流洞 18000kN 固定卷扬式启闭机单钩起升容量目前为国内同类型启闭机最大。该启闭机设计要求高, 结构复杂, 设计周期紧张, 设计难度较大。以 CATIA 为基础平台, 灵活应用 BIM 技术, 实现了对乌东德水电站导流洞 18000kN 固定卷扬式启闭机多阶段应用和多模块协同, 达到了设备三维可视化展示、渲染效果处理、工程量统计、碰撞检测、工程图定制及成套出图、虚拟施工装配。以 BIM 数字模型为基础, 在开发用户运维管理应用服务方面进行了探索。

关键词: 乌东德; BIM; CATIA; 运维管理

1 引言

乌东德水电站是金沙江水电基地下游河段四大世界级巨型水电站的第一梯级, 总装机容量为 1020 万千瓦。电站主体建筑物由挡水建筑物、泄水建筑物、引水发电建筑物等组成。挡水建筑物为混凝土双曲拱坝, 电站厂房布置于左右两岸山体中, 各安装 6 台单机容量为 850MW 的混流式水轮发电机组。工程规模宏大, 创下多项世界之最^[1]。其导流洞封堵闸门采用固定卷扬式启闭机进行操作, 起升容量为 18000kN, 单钩起升容量目前为国内同类型启闭机最大。该启闭机设计要求高, 结构复杂, 设计周期紧张, 设计难度较大。

近年来随着现代信息技术的发展, 国家政策的引导推动, 人们日益认识到 BIM 技术的可视化、建模快、模拟性、优化型、协同性和可出图等技术优势^[2,3], BIM 技术集成应用能力逐步提升^[4-8], 在工程领域的应用日益广泛。在 BIM 技术应用方面水利水电行业相比建筑行业虽然存在差距, 但也做出了许多有意义的工作^[1, 9-12], 为乌东德导流洞 18000kN 固定卷扬式启闭机采用 BIM 技术进行设计提供了宝贵借鉴经验。以 CATIA 为基础平台, 应用 BIM 技术, 实现了对乌东德水电站导流洞 18000kN 固定卷扬式启闭机多阶段应用和多模块协同, 达到了设备三维可视化展示、渲染效果处理、工程量统计、碰撞检测、工程图定制及成套出图、虚拟施工装配。以 BIM 数字模型为基础, 在开发用户运维管理应用服务方面进行了探索。

2 设计流程

乌东德水电站导流洞 18000kN 固定卷扬式启闭机经历了方案设计、详细设计、复核计算、二维工程图、提升应用开发及归档交付阶段。

方案设计阶段主要是分析并响应招标文件及业主要求, 结合项目经验及设备特点, 综合考虑技术及经济指标, 制定策略, 完成传动方案设计、主要零部件选型计算。详细设计阶段依据设计室 BIM 三维设计大纲及作业指导文件, 调用和丰富三维数字化设计资源, 结合项目特殊要求, 完成参数化模型。复核计算阶段在常规计算基础上, 根据模型实际结构尺寸, 进行复核计算。针对特殊结构和关键零部件, 采用 CAE 计算进行可靠性复核。对复核合格后的三维模型, 订制和应用工程图模板, 完成二维工程图。

提升应用开发是发挥设计源头信息富集优势, 结合制造、安装、运营实际情况, 开发有利于用户作业、管理的应用服务。最后对所有校审完成、修改合格后的归档图、应用服务资料及一并交付用户。

3 设计效果

乌东德导流洞 18000kN 固定卷扬式启闭机主要包括起升机构、机架及电气控制系统。其中起升机构由开式齿卷筒装置、小齿轮装置、减速器、联轴器、电动机、工作制动器、应急装置、动滑轮组、定滑轮组、平衡滑轮、钢丝绳以及高度指示器等部件组成, 涉及零部件多, 传动路线复杂。由于采用了 BIM 建模技术, 在方案设计阶段即完成了相应的投标级详细程度的三维模型。该模型能直观形象地表示设备的传动原理、设备布置、总体大致尺寸, 为投标方案最终赢得业主青睐增加了分量。

作者简介: 邹今春, 男, 1986 年生, 湖南新化人, 硕士研究生学历, 主要从事钢闸门及启闭机设计工作, 478917619@qq.com。

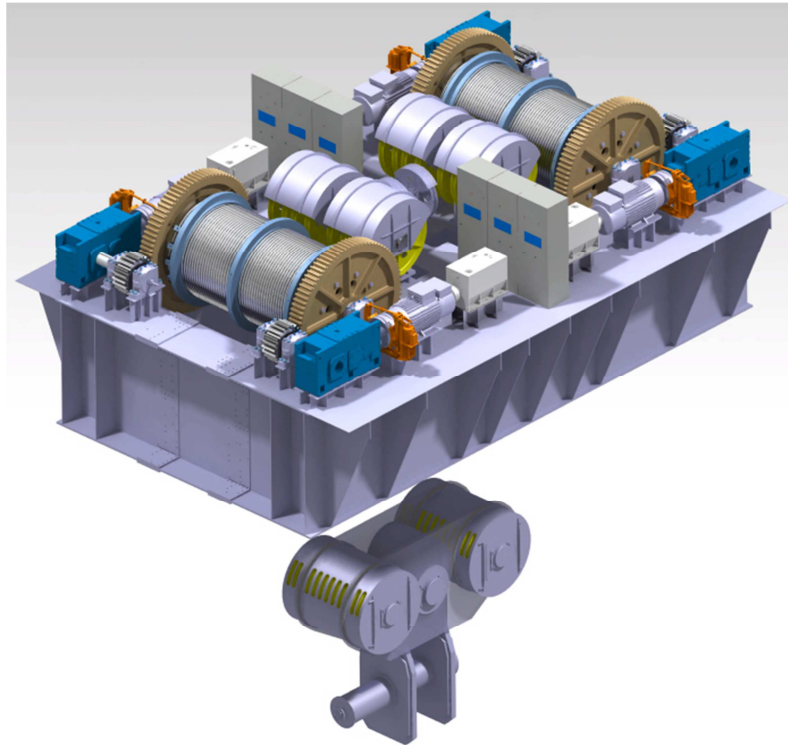


图1 方案设计阶段设备效果

详细设计阶段是方案设计阶段的深化,主要工作是依据设计室 BIM 三维设计大纲及公司级作业指导文件,由设计团队根据设备组成模块分工合作,以设计计算为基础,在 CATIA VPM 平台上调用三维数字化设计资源,通过协同共享完成参数化整体模型。其中设计室三维设计大纲根据启闭机不同类型对文件代码、参数格式、模型渲染颜色、模型组织结构、模型属性缺省信息、专业模板分级、资源库建设管理方式及权限设置、设备零部件和模板入库规则、协同发布文件要求、三维校审方法及流程等进行了规范,并逐步形成了设计室三维数字化设计资源库,成为公司级资源库的特色优势资源库。

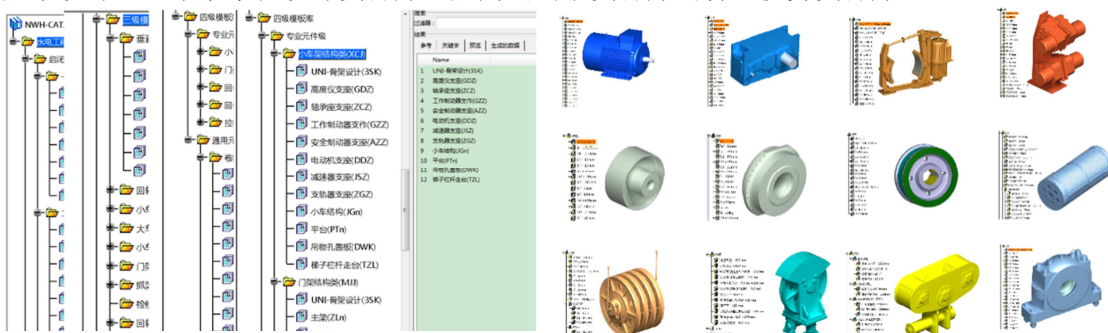


图2 设计室三维设计资源库

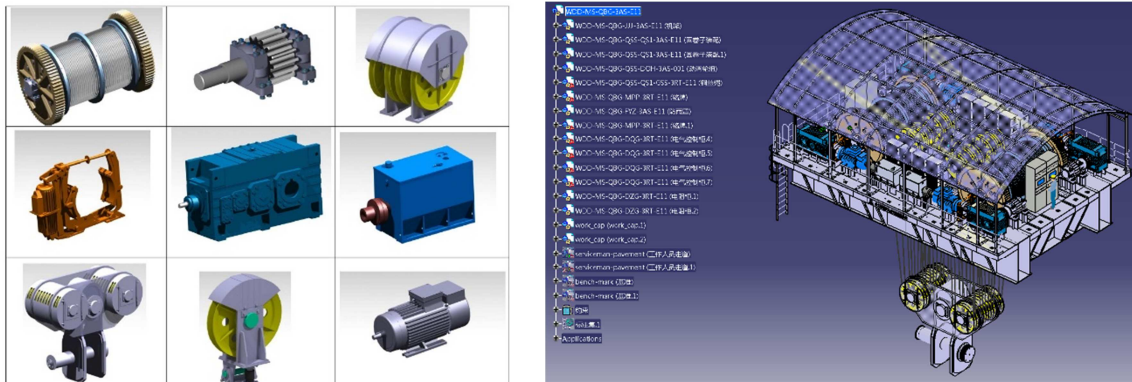


图3 详细设计模型

复核计算根据模型实际结构尺寸，以现行规范及招标文件为依据，进行产品各部位结构强度、刚度、稳定性、疲劳寿命等复核计算。结合设备特点对深梁结构主梁、厚板 U 形吊耳结构等关键零部件以 CATIA 模型为基础，采用 CAD / CAE 参数化集成分析技术复核，为产品快速优化提供有力计算支撑，提高了设计方案整体可靠性。

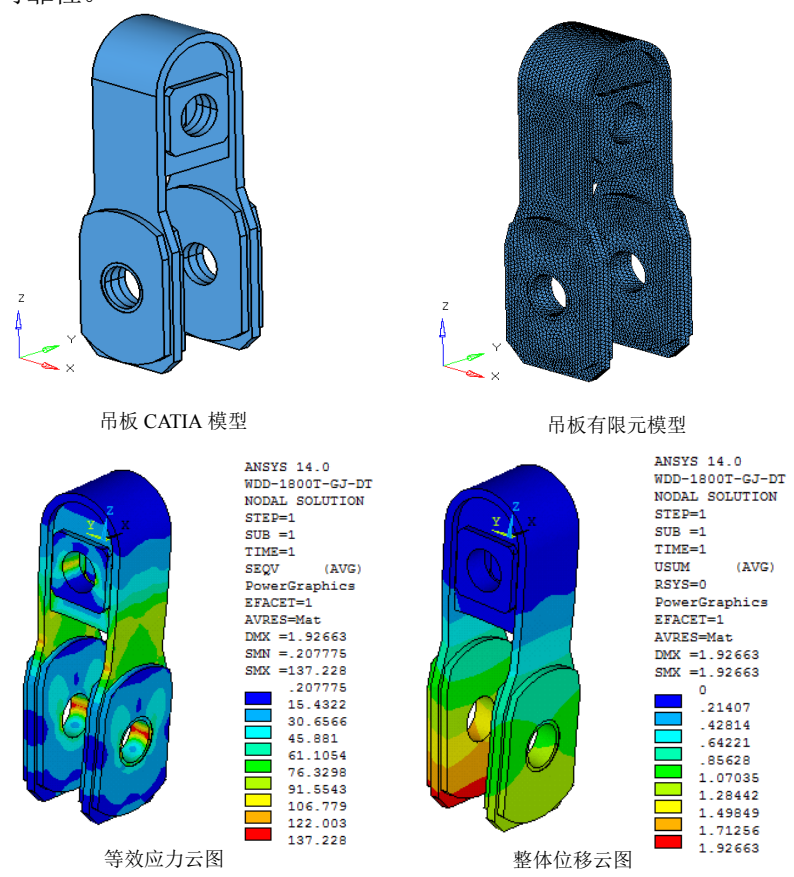
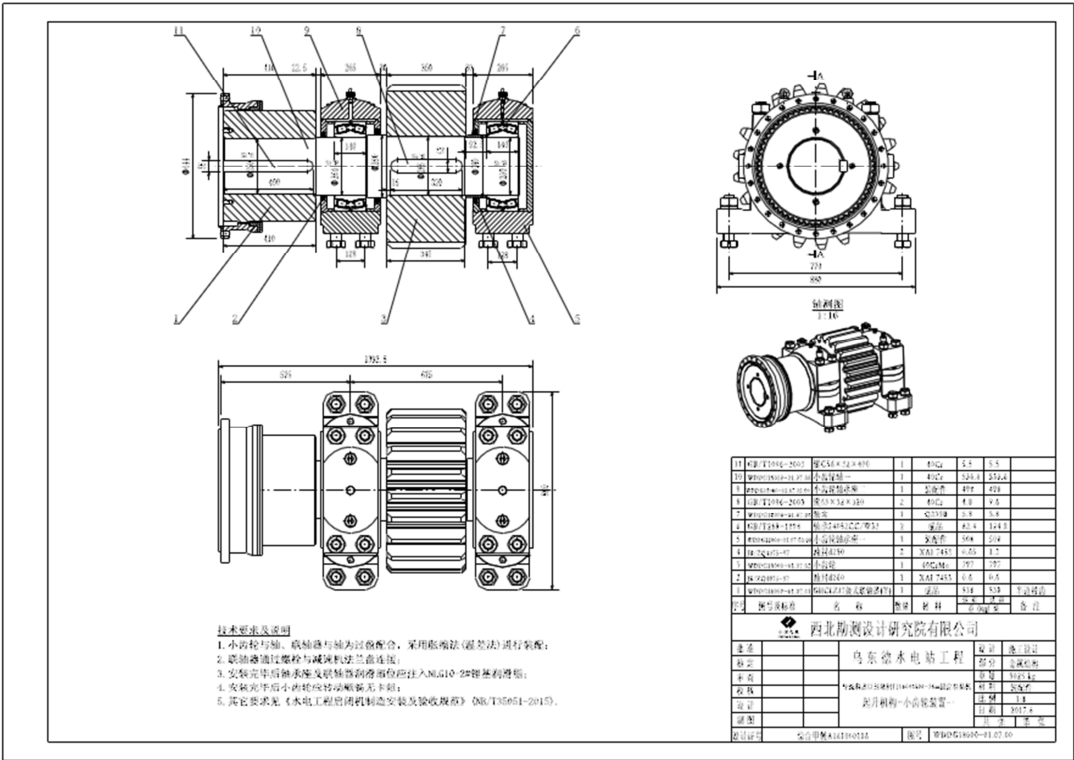


图 4 厚板 U 形吊耳结构有限元分析

对复核合格后的三维模型定稿锁定，将工程图模板关联三维模型，更新二维工程图，完成设备全套工程图。需要注意的是 CATIA V5 工程图模块中的图形表达方式与我国机械制图规定以及水利水电行业表达习惯存在差别，通过二次开发 CATIA 工程图扩展工具解决了上述问题，并对 CATIA 工程图模块的焊缝表达、材料表自动生成等功能进行了强化。



4 提升应用

传统设计往往止于工程图的完成，基于 BIM 技术的设计由于掌握了模型和嵌入在模型中的丰富信息，除了完成碰撞检测、工程量统计、效果图渲染等操作，还可以结合制造、安装、运维实际情况，寻找客户需求
 和痛点，开发有利于用户作业、管理的应用和服务，在优化设计供给的同时为设计方案加分增值。

乌东德导流洞 18000kN 固定卷扬式启闭机设计团队在 BIM 技术提升应用方面的尝试包括：设备安装（检测）基准系、运输方案分块图、运维人员行走通道导引及净空间分布图、设备日常润滑点分布图、外购成套零部件三维电子信息卡、虚拟装配（拆卸）。此外在丰富产品展示文档格式类型，实现电子产品轻量化，便利产品信息异地交流共享方面取得一些有益经验。

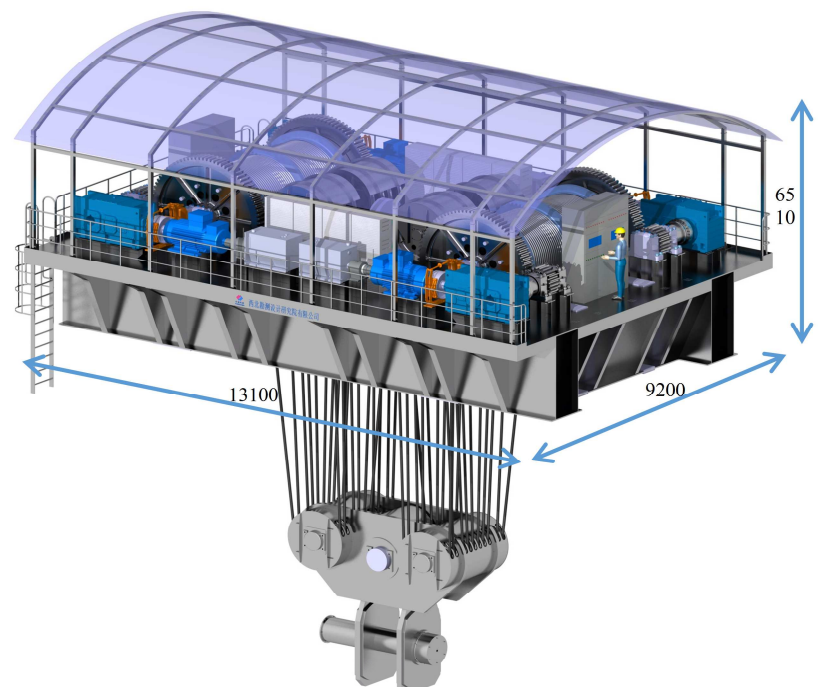


图 6 设备整体渲染效果图

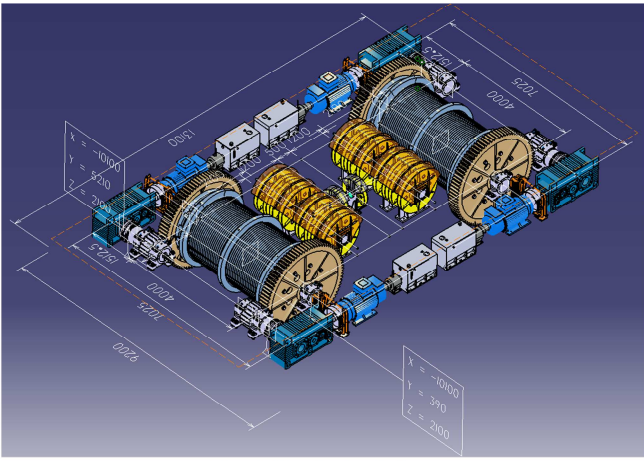


图 7 安装（检测）基准系

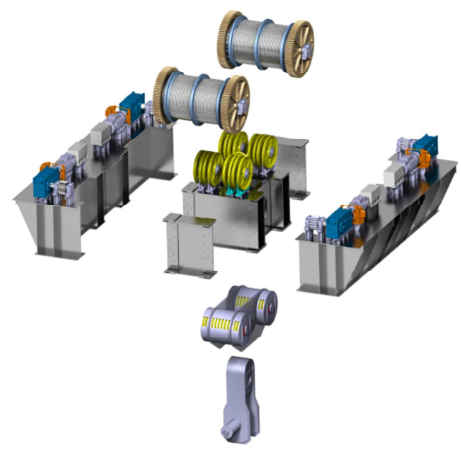


图 8 运输安装分块图

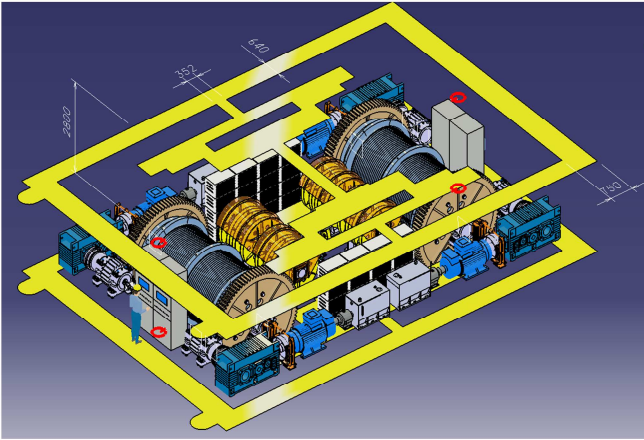


图 9 行走通道（消防）导引及净空间分布图

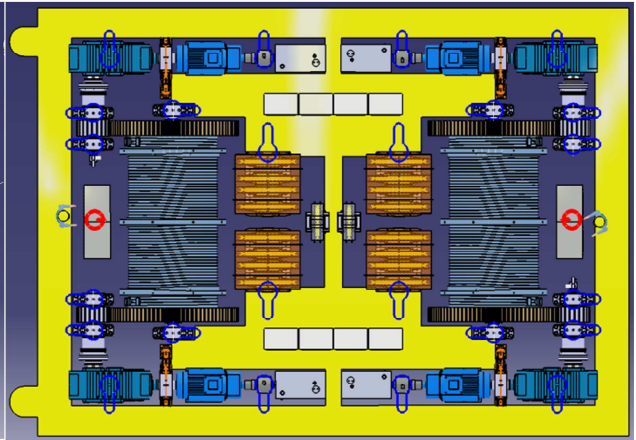


图 10 运维人员设备日常润滑点分布图

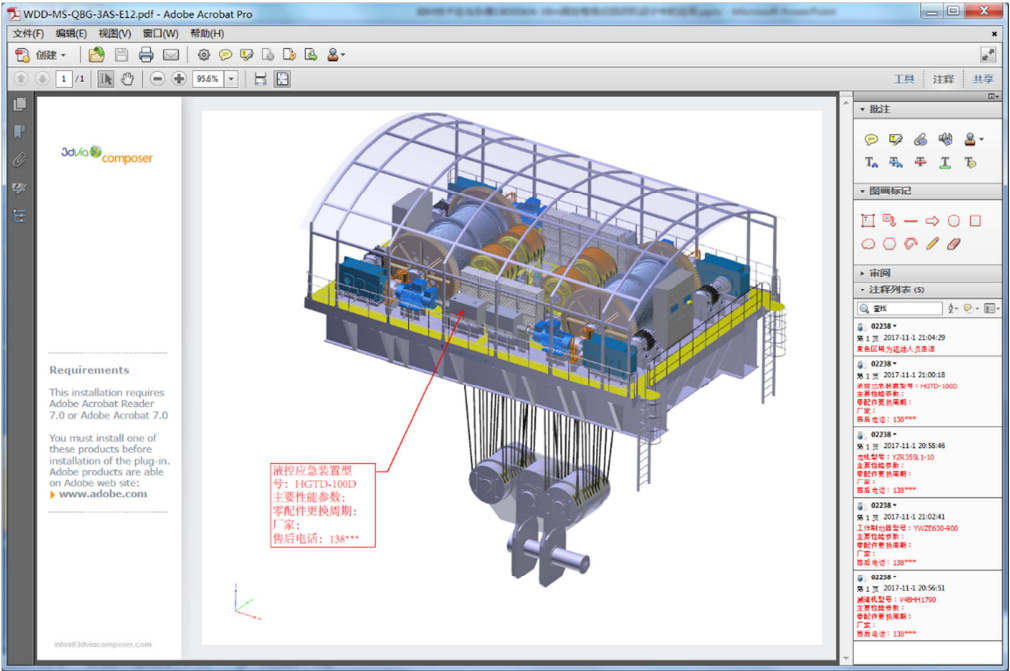


图 11 外购成套零部件三维电子信息卡

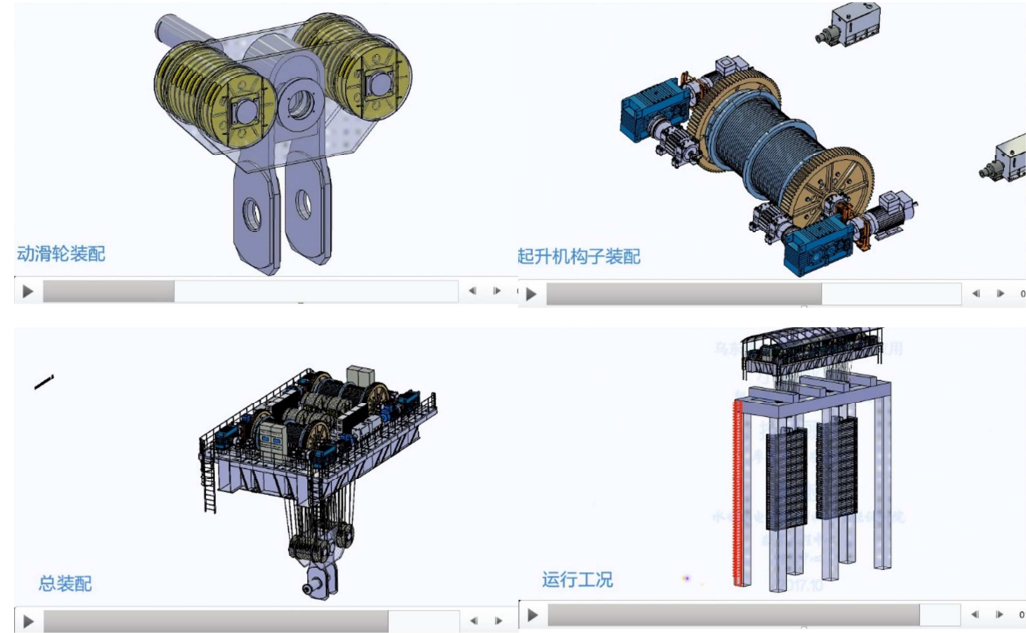


图 12 虚拟装配动画截屏

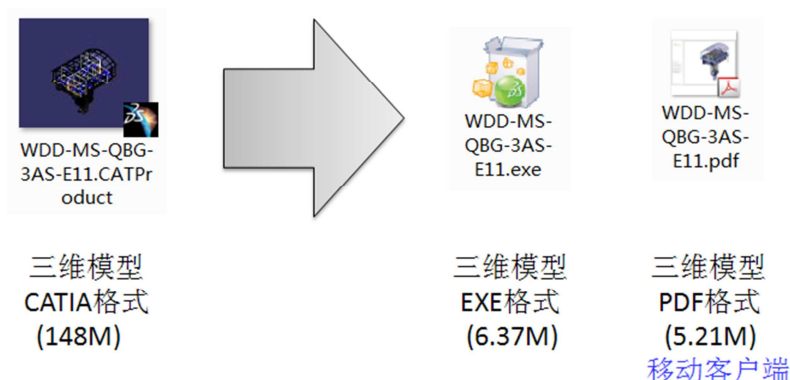


图 13 模型轻量化效果对比

5 总结与讨论

以 CATIA 为基础平台,遵照规范化的作业指导文件调用设计资源库,在设计团队内实现分模块协同,建立了赋属性的参数化模型。融合 CAD/CAE 技术对关键零部件结构进行了分析,为结构优化提供可靠计算支撑。调用资源库中的图纸模板,综合运用二次开发的工程图扩展工具,完成了乌东德导流洞 18000kN 固定卷扬式启闭机正向设计全套工程图。在此基础上结合用户实际需求,发挥设计前端引领作用,开发出一系列制造、安装、运维环节服务。

住建部《2016-2020 年建筑业信息化发展纲要》中指出,着力增强 BIM 技术集成应用能力,深度融合新兴信息技术,实现企业管理信息系统一体化。为今后 BIM 技术应用提出了新要求。实际上 BIM 技术在设计行业发展相对缓慢的现状与 BIM 应用过程中的“头重脚轻”不无关系: BIM 应用项目对前期资源库建设的依赖,对方案设计阶段资源配置要求高,使设计资源重心前移,而后期模型利用率低的。在传统二维设计手段轻车熟路的诱惑下果断抛弃 BIM,或者是采用二维设计手段完成设计后为了 BIM 而 BIM 的翻模。因此需要弃近利、明大势,以用户需求为导向,向价值曲线高端延伸,深度发掘产品在设备运维管理中的价值效能。以应用对象模型为载体,整合各类信息资源,打造满足各种用户和用户的各个阶段需求的应用模式,持续优化供给,改善服务,共同提升价值。进而通过技术革新的累积带动组织创新,实现传统设计企业的转型升级。

参考文献

- [1] 李小帅,张乐.乌东德水电站枢纽工程 BIM 设计与应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2017, 9(1): 7-13.
- [2] 王凤起. BIM 技术应用发展研究报告[J]. 建筑技术, 2017, 48(11): 1124-1126.
- [3] 纪凡荣,曹江红. 施工投标中 BIM 建模细度及应用研究[J]. 图学学报, 2017, 38(6): 904-908.
- [4] 丁文胜,张彬彬. BIM 技术在大型钢结构施工危险源管理中的应用[J]. 土木工程与管理学报, 2017, 34(3): 13-19.
- [5] 郑琳琳,程淑珍等. BIM 技术在六盘水综合管廊建设中的应用[J]. 施工技术, 2017, 46(21): 66-69.
- [6] 王茹,黄鑫.基于 BIM 的运维设备构件预警管理系统研究[J]. 计算机工程与应用, 2017, 53(19): 231-235.
- [7] 杨陈相.基于 BIM 技术的地铁车站协同设计及结构计算研究[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(12): 105-109.
- [8] 葛鹏,杜鹏等.基于 ECVS 设计法的 BIM 出图模式分析研究[J]. 建筑技术, 2017, 48(12): 1286-1289.
- [9] 陈相楠,贾刚. 基于 CATIA 的水工钢闸门组件库的创建[J]. 水电站设计, 2009, 25(1): 13-16.
- [10] 任华春. 基于 BIM 技术的泵闸工程三维协同集成化设计方案研究[J]. 水利水电技术, 2017, 5: 67-73.
- [11] 李德,宾洪祥,黄桂林. 水利水电工程 BIM 应用价值与企业推广思考[J]. 水利水电技术, 2016, 8: 40-43.
- [12] 王天兴,张继勋,任旭华. 基于 CATIA 的斜心墙土石坝建模与分析[J]. 水利水电技术, 2017, 6: 23-27.

BIM 技术在水工金属结构设计中的应用

田志伟, 吕传亮

(中水北方勘测设计研究有限责任公司天津 300222, 水利部水利水电规划设计总院北京 100011)

摘要: 基于 BIM 技术在工民建领域已广泛运用, 近年来许多水利水电工程项目也逐渐采用 BIM 技术。本文依托本公司的设计的工程, 详细阐述了水工金属结构专业从项目的前期策划、招标投标、设计施工、制造安装、运行管理等角度的 BIM 技术应用实施的思路及具体解决方案。

关键词: BIM; 金属结构; 可视化; 参数化; 协同设计

1 引言

上世纪 70 年代, BIM (Building Information Modeling) 由美国佐治亚理工大学建筑与计算机科学公司的查克伊士曼博士提出, 他认为建筑信息模型可以将整个建筑生命周期内的所有信息, 诸如几何信息、功能要求、构建性能、施工进度、项目管理等信息综合到单一的模型中。

BIM 技术具有以下优点: (1) 可视化利用 BIM 技术可提供构件间的实体信息及互动性和反馈性。(2) 协调性 BIM 信息模型可对各专业进行碰撞分析, 协调专业间的设计。(3) 模拟性 BIM 可以模拟设计、施工、管理各个阶段的虚拟情况。(4) 优化性 BIM 可提供复杂项目的优化, 例如: 项目方案及特殊项目的优化设计。(5) 可出图性 BIM 可提供可视化三维立体图纸, 使图纸表达更形象直观。(6) 一体化性基于 BIM 技术可进行从设计到施工再到运营管理贯穿了工程项目全生命周期的一体化。(7) 参数化性 BIM 技术通过参数调整反映各个构件的信息。(8) 信息完备性 BIM 技术可对工程对象进行 3D 几何信息和拓扑关系的描述以及完整的工程信息描述。

近年来 BIM 技术也逐渐应用于水利水电工程中, 通过 BIM 技术可以在模型上准确反应各种信息, BIM 可以实现三维可视化设计, 形象直观, 直接取代传统二维设计方式, 各专业可以应用 BIM 技术进行碰撞检查, 避免错、漏、碰等二维设计容易出现的想象。施工和管理单位也可利用工程模型随时调用数据信息, 方便工程的施工、设备安装及运营和维护, 实现全生命周期的真正的价值。

目前, 水工金属结构已经成功在许多水利水电工程中应用 BIM 技术, BIM 技术的优势在于拥有先进的设计理念和巨大的技术经济价值, 可以为水工金属结构提供新的设计理念, 新的设计思路, 新的设计方法。本文以已经实施的水利水电工程为例, 详细阐述 BIM 技术是如何运用在水工金属结构设计中。

2 BIM 技术应用

2.1 专业协同设计

目前, BIM 技术有多种可利用的软件, 如 Autodesk、Bentley、CATIA 等系列软件。本文以水工金属结构常用的机械设计软件 Solidwork 为例, 详细阐述 BIM 技术在专业协同设计上的应用。

通过 Solidwork 软件建立水工金属结构模型, 再转换成其他文件格式导入 Microstation, 完成专业组装。水工专业和金属结构专业可以在同一平台展开配合工作, 水工专业可以根据金属结构专业的模型准确预留闸门所需的二期混凝土尺寸, 并开展水工体型及配筋设计工作, 当设计参数有变化时, Bentley 平台下的 PW 管理软件会及时提醒相关专业, 通过 PW 水工和金结可以很方便查看模型的修改信息, 及时更改设计资料, 成功避免了上、下游专业设计资料提交不及时甚至没有告知下游专业等情况, 有效缩短设计周期, 提高工作效率。

原来的传统设计方法是不同专业的设计人员在二维图纸上进行专业间的配合工作, 二维设计只能利用平面图和剖面图表达设计信息, 水利水电工程的体型一般较复杂, 很难真实展现设计成果, 很容易出现设计人员表达不清自己的设计意图和理解偏差的问题, 各专业间很容易出现干涉的现象, 由于设计人员只能根据自身的业务能力进行校核, 具有很大主观因素, 易出现错、漏、碰等现象。

Bentley 平台下的 Navigator 可以进行模型的漫游查看及碰撞检查, 避免了传统的二维设计校核及碰撞检查不直观的缺点, 提高图纸的设计质量, 杜绝图纸在发蓝图前发生低级图纸错误等现象。

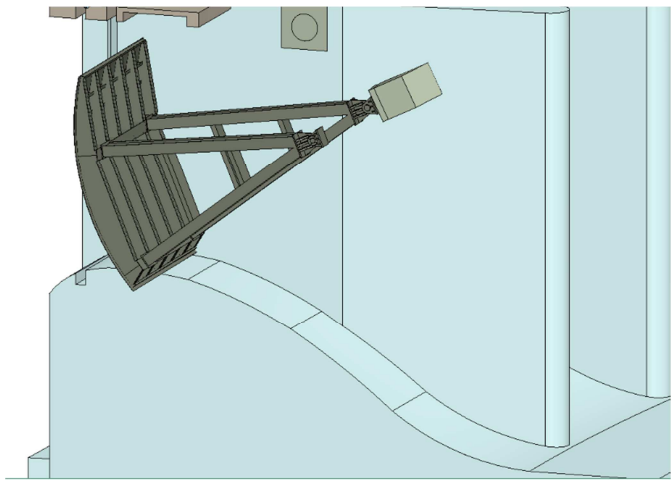


图 1 表孔溢流坝 BIM 模型专业配合

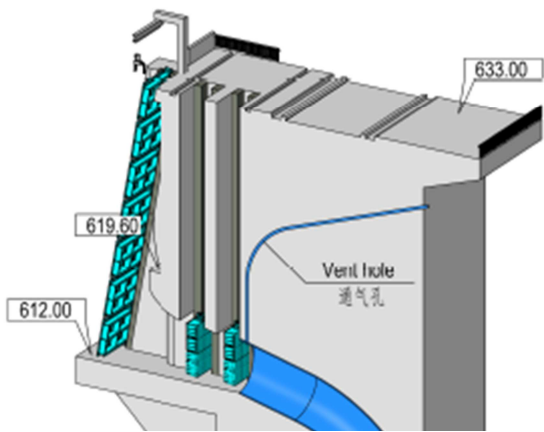


图 2 电站进水口 BIM 模型专业配合

2.2 BIM 参数化模型及出图

基于 Solidworks 平台，可以通过改变参数化尺寸大小来驱动三维模型的更新，再驱动相应的工程图更新，建立了模型输入的参数化尺寸与模型、工程图所显示尺寸的关联性，由于存在这种关联性，使得参数化尺寸可以驱动模型和工程图，即实现了三维参数化设计。

三维参数化设计流程是以零部件为基础单元，将这些基础单元构件搭设起来构成总体装配。将零件之间的装配关系转化为参数关联，在众多的参数中找出结构的关键参数，以尽量精简为原则，在装配体模式下建立公共草图定义关键参数，然后通过三维软件中的方程式定义相关参数并驱动公共草图中的尺寸参数。通过这种参数化设计，保证了所有零部件关联尺寸的统一性、唯一性。同时，利用三维参数化设计软件 的尺寸驱动技术，仅需要调整零部件的结构关键参数，即完成了所有零部件的结构尺寸调整，而无需逐个对零部件进行调整，有效地减少了结构调整的工作强度，也降低了产品设计校审的难度。



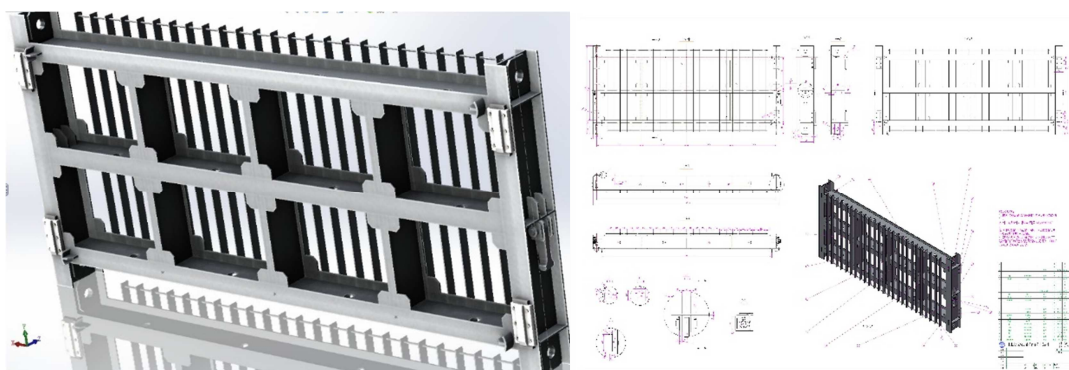


图3 拦污栅三维参数化设计过程

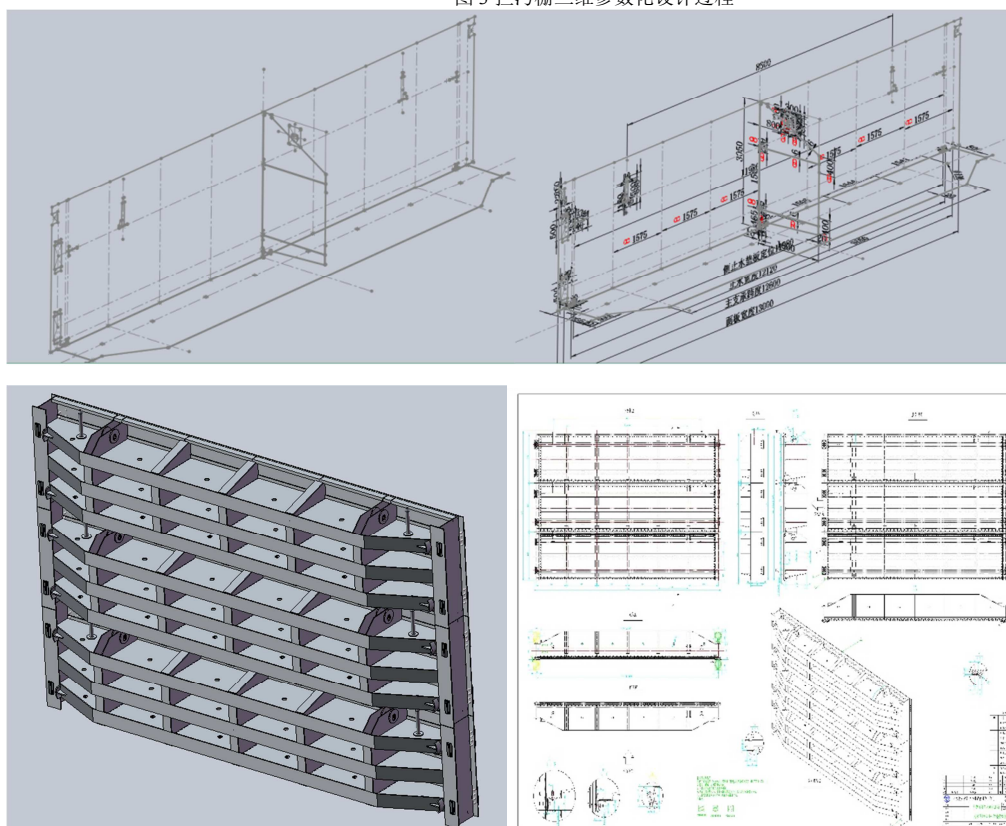


图4 平板闸门三维参数化设计过程

这种设计当其零部件发生变化后，装配及设计成果会随时发生联动，同二维设计相比，设计效率（主要体现在装配和零件的交互过程）和设计质量有着大幅度的提升，但采用这种设计模式需要设计人员有较高的总体规划设计能力，特别是在产品设计中，如果没有经过精心的规划设计，就可能导致已建成的零部件模型与装配模型产生冲突，不适合安装要求，需要多次修改模型。

2.3 BIM 技术可视化的应用

通过 BIM 技术，可以进行金属结构专业内部各个零部件的干涉和碰撞检查，提高校审的效率，保证设计的准确性和合理性。BIM 技术可以提供动画演示功能，精确表达各个模型的空间关系，模拟各个装配体的安装过程，可支持更好的设计表达及交流，提高了设计质量和沟通效果，如图 5、图 6 可提供轮子及支铰的装配指导顺序。

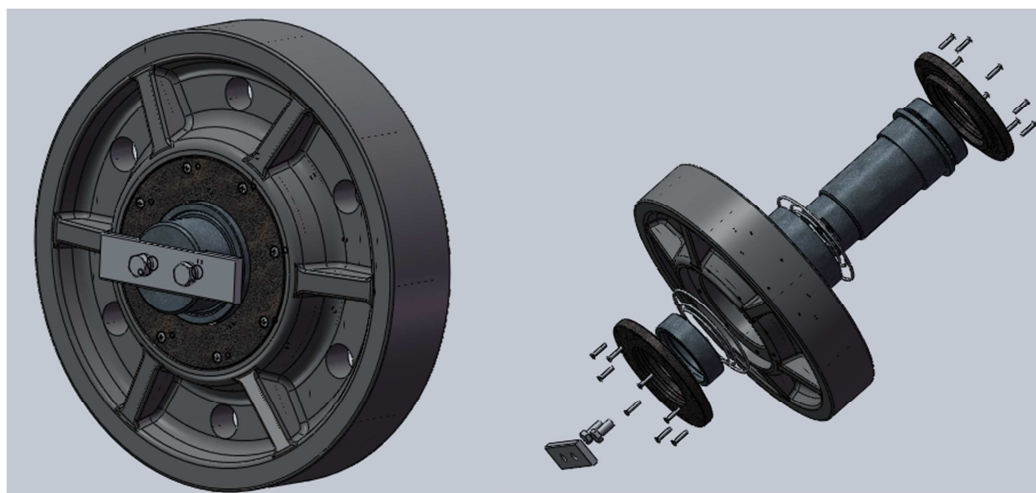


图 5 轮子装配体及安装辅助设计图

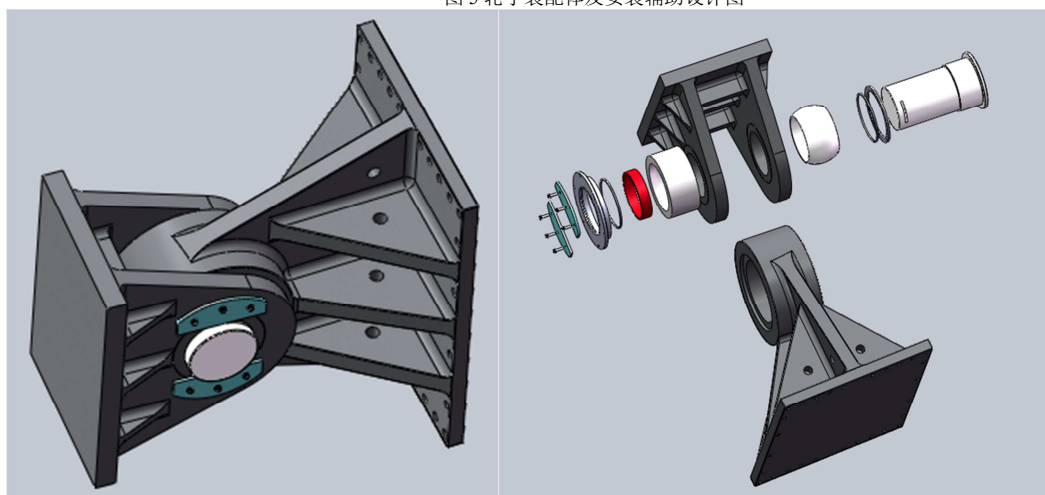


图 6 支铰装配体及安装辅助设计图

2.4BIM 技术提取特性数据

2.4.1 精确定位重心

水工金属结构的重心是设计过程中重要参数，传统设计过程多采用手工计算，计算过程中繁琐，由于水工金属结构零件众多且自身不规则，时常会有异形结构件的出现，容易出现漏算、错算等情况。通过 BIM 技术建立水工金属结构的三维模型，可直接生成结构的重心，位置精确，提高了设计过程的效率和准确性，保证水工金属结构安全的操作和运行。

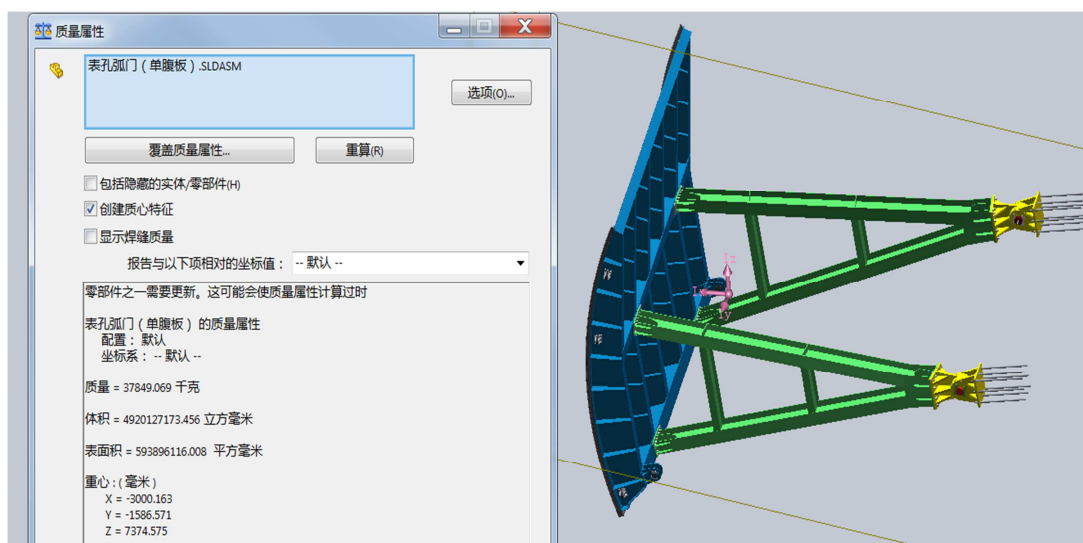
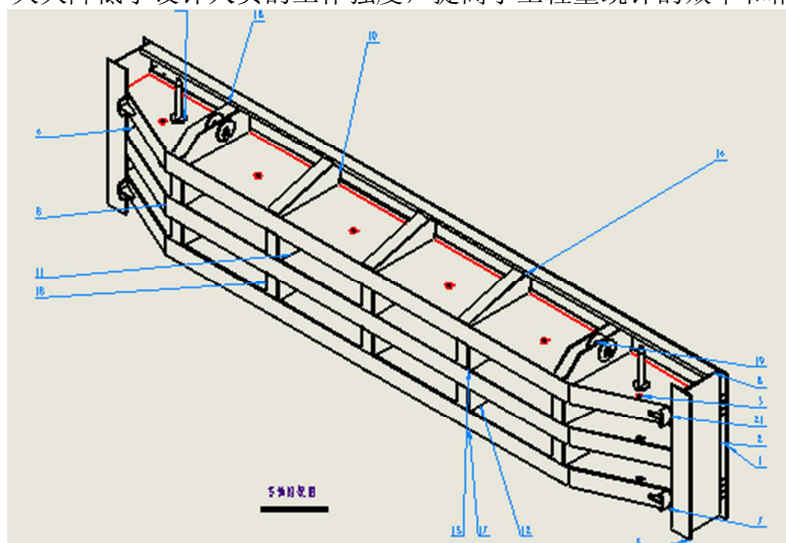


图7 表孔弧门特性数据图

2.4.2 自动生成 BOM 工程量表

由于水工金属结构存在大量复杂异性结构件，材料属性不完全一致，传统的设计方法只能采取手工方法，按照零件种类及数量逐一统计，效率低下，重复性工作居多，且结果容易出现错误，不能到达准确统计工程量。

应用 BIM 技术建立水工金属结构三维模型，按零部件自动生成工程量结果，且对结构件尺寸能自动生成结构材料尺寸表，大大降低了设计人员的工作强度，提高了工程量统计的效率和精度。



23	腹板防腐	-100000.000	Q235	1	8185.1	8185.1	
22	腹板防腐	-100000.000	Q235	2	11000.0	22000.0	
21	腹板防腐		Q235	4	9600.0	38400.0	
20	腹板防腐		Q235	2	27100.0	54200.0	
19	腹板防腐	-20000.000	Q235	8	9181.1	73448.8	
18	腹板防腐	-100000.000	Q235	4	5800.0	23200.0	
17	腹板防腐	-200000.000	Q235	5	32500.0	162500.0	
16	腹板防腐	-200000.000	Q235	5	10000.0	50000.0	
15	腹板防腐	-200000.000	Q235	5	12100.0	60500.0	
14	腹板防腐	-200000.000	Q235	5	33000.0	165000.0	
13	腹板防腐	-100000.000	Q235	5	28100.0	140500.0	
12	腹板防腐	-100000.000	Q235	5	7000.0	35000.0	
11	腹板防腐	-100000.000	Q235	5	7000.0	35000.0	
10	腹板防腐	-100000.000	Q235	5	35000.0	175000.0	
9	腹板防腐	100000.000	Q235	1	233.2	233.2	
8	腹板防腐	100000.000	Q235	1	233.2	233.2	
7	腹板防腐	-200000.000	Q235	8	8000.0	64000.0	
6	腹板防腐	-200000.000	Q235	3	30000.0	90000.0	
5	腹板防腐	-200000.000	Q235	2	12500.0	25000.0	
4	腹板防腐	-100000.000	Q235	3	10000.0	30000.0	
3	腹板防腐	-200000.000	Q235	3	23000.0	69000.0	
2	腹板防腐	-100000.000	Q235	1	30000.0	30000.0	
1	腹板防腐	-100000.000	Q235	1	30000.0	30000.0	
序号	图号	名称	材料	数量	重量	面积	备注

图 8 工程量统计数据图

2.4.3 自动生成防腐表面积

水工金属结构表面易产生锈蚀现象，影响强度和使用寿命，要在表面进行防腐涂装。常规设计方案是在表面进行预处理、热喷锌、封闭底漆、中间漆、面漆等防腐涂装。表面积是计算防腐费用的重要数据，传统方法是按照类似工程进行经验估算，与实际值偏差较大。应用 BIM 技术模型直接读取表面积，大大提高了防腐费用预算值的精确度，保证概算方案的准确性（如图 7）。

3 结语

BIM 技术是一个创新的应用过程，工程设计人员可以摆脱繁琐复杂的施工图修改和复核计算，集中精力用在新材料和新技术的研究和应用上，有利于水工金属结构的技术更新和进步。参数化建模的实现大大地提高了设计效率，并且更有利于产品设计质量的控制。BIM 技术在水工金属结构专业项目的前期策划、招标投标、设计施工、制造安装、运行管理等角度提供了应用实施的思路及具体解决方案。目前 BIM 技术在各大设计公司还属于起步阶段，BIM 技术在水工金属结构设计中尚有广泛的应用空间。

参考文献

- [1] 陈超祥,胡其登主编.SolidWorks 零件与装配体教程 2013 版[M].北京:机械出版社,2013.
- [2] 焦磊. BIM 技术在某船闸工程金属结构设计中的应用[J].武汉勘察,2017,(5):47-50.
- [3] 石俊杰. 水利工程设计应用 BIM 技术的思考[J].上海水务,2015,(4):40-42.

BIM 参数化设计在水工平面钢闸门中的应用

刘燕强陈景茹白寅虎

(河北省水利水电第二勘测设计研究院河北石家庄 050021)

摘要: 以 Bentley Microsation 软件为平台, 通过二次开发, 进行水工钢闸门三维参数化设计。实现了平面钢闸门参数化建模、工程量统计以及闸门重心计算, 并将模型及参数应用到结构计算以及三维施工图纸, 提高了设计效率跟设计质量。

关键词: BIM 设计; 平面钢闸门; 参数化; 全生命周期

1 引言

随着科学技术的不断发展和人们对效率及效果的不追求, BIM 技术在水利水电工程中得到了广泛的应用。BIM 的精髓在于利用模型这一载体, 进行设计、施工、业主、设备供应商之间信息的无障碍交流, 实现工程的全生命周期管理。水工钢闸门的常规 BIM 设计流程如图 1

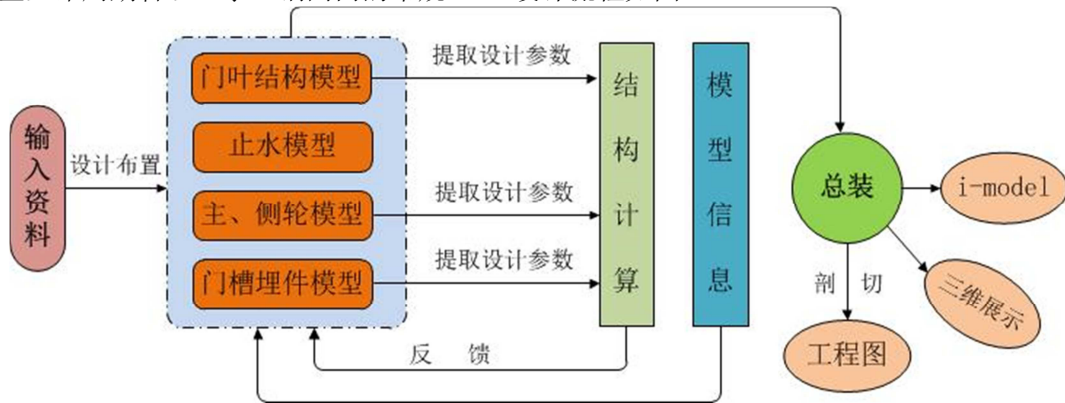


图 1 水工金属结构专业三维设计流程

如图所示, 常规三维实体模型的建立需消耗了大量时间, 且一旦输入参数发生变化, 整个流程需重新进行, 严重影响设计效率和设计质量。本文利用 Bentley Microsation 软件对 BIM 软件进行二次研发, 建立了水工平面钢闸门三维参数化数字模型, 通过人机交互界面, 实现钢闸门的参数化建模, 参数化设计流程如图 2。

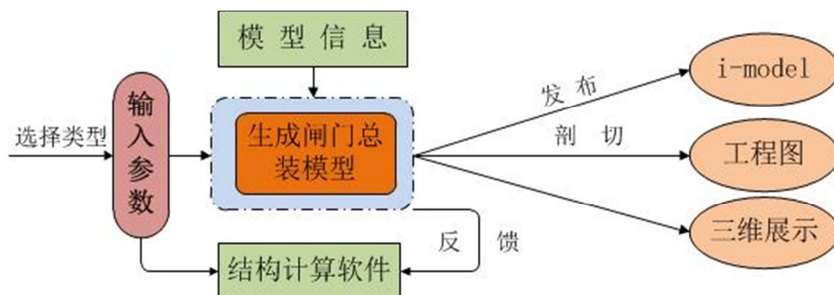


图 2 水工金属结构专业参数化设计流程

2 平面钢闸门参数化建模设计

参数化设计包括参数化图元和参数化修改引擎。本文基于 Microsation 软件中 VBA 项目管理工具, 利用 VBA 编程语句以闸门零部件基本形式为闸门参数化图元, 闸门各零部件装配关系为闸门参数化修改引擎, 实现闸门的参数化建模。建模过程如图 3。

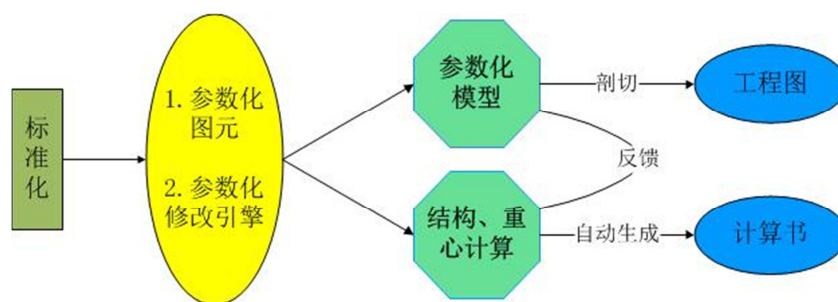


图3 参数化建模过程

2.1 标准化定形

参数化建模的前提需先进行标准化定形，且标准化程度越高则参数化水平也越高。

常见的平面钢闸门分为露顶式和潜孔式两大类。露顶式平面钢闸门以双主梁形式最为常见，止水常安装于面板侧；潜孔式平面钢闸门分为前止水（止水安装于面板侧）和后止水（止水安装于边梁后翼缘侧）两大类，常见的主梁根数有 2、3、4 等。常见的止水形式包括 P45-A、P60-A 或双 P45 等。文章针对中小型平面钢闸门基本形式，进行了双主梁露顶式平面钢闸门和潜孔式平面钢闸门标准化定形。

2.2 定义参数化图元

平面闸门参数化变量包括孔口宽度（B）、闸门高度（H）、面板厚度（MH）等。以生成面板为例介绍如何形成面板图元。面板是一个立方体，可以通过一个平面四边形通过拉升形成。过程如下：

（1）利用 Microsation 中绘制平面命令（Set ShapeElement = object. CreateShapeElement1 (Template, Vertices [, FillMode])）获得闸门参数化图元的平面图形。

（2）通过 Microsation 中拉伸命令（Set Smart Solid Element = Smart Solid. Extrude Closed Planar Curve(Sl, Element, 0, a, True)）形成闸门参数化图元实体。

（3）利用 object.Color [= Long]功能和[Set] object.Level [= Level] 功能将其赋予一定的颜色和图层。

通过上述操作可得到一个完整的闸门面板的参数化图元。

（4）利用 MBST As SmartSolidElement（定义面板实体）

（5）利用 MBST = shiti4(0, 10, 0, 0, B - 20, 0, 0, 0, H, 0, -(B - 20), 0, MH)（创建面板实体）

（6）利用 MBST.Level = SolidLevel("面板")（设置面板图层）

（7）利用 MBST.ComputeVolume / 1000000000 * 7850（计算面板重量）

（8）利用 sl(0) = 1（计算面板数量）

（9）利用 lj(0) = MH / 2（计算面板力矩）

2.3 定义参数化修改引擎

参数化图元建模中每一个零部件的主动尺寸由用户自行设定，从动尺寸与放置位置等都在预先设置好的计算框架中进行。闸门参数化修改引擎就是针对各部件的作用，确定部件尺寸，并建立部件间的相对关系。修改引擎渗透在整个参数化图元建模过程中。

以闸门边梁为例简单说明闸门参数化驱动引擎。综合面板厚度、边梁自由端等因素，确定边梁图元的绘制起点坐标（MH, 10 + BZ - BFH / 2, 0）而非（0, 0, 0）（BZ 为边梁自由端宽度，BFH 为边梁腹板厚度）。由边梁，闸门零部件中存在一大部分从动尺寸，而这些从动尺寸都可以通过主动尺寸计算可得，这个计算过程综合起来就得到了闸门参数化修改引擎。

闸门零部件（如：主、侧轮轮等）可先建立标准模型，存于模型库中，建立闸门模型时，以 cel 的形式插入方法如下：

（1）利用 ZLSTX As CellElement

（2）利用 Application.AttachCellLibrary "D:\工作库\金结设备库\金结设备库.cel"

（3）利用 Set ZLSTX = cell(JL1, -L - 61, Y1 + L1, "DN330-短")

2.4 参数化模型

通过 2.1-2.3 生成的人机交换界面如图 4 所示，闸门设计过程中，输入闸门控制参数、选择底、次梁形式、选择止水形式以及吊点数等参数，自动生成图 5 所示的三维闸门模型。

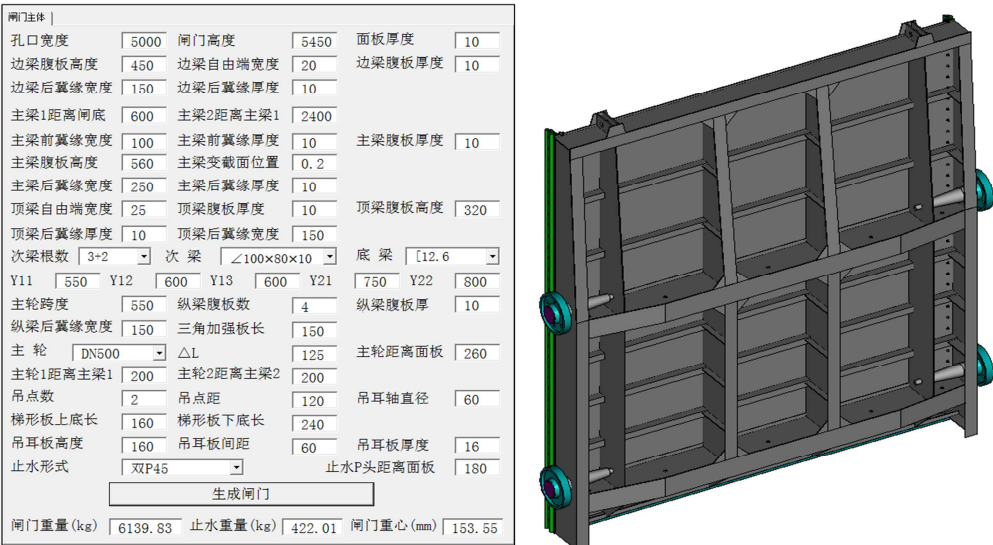


图4 闸门初始参数输入界面图5 三维闸门轴测图

2.5 结构、重心计算

将闸门设计参数倒入我院开发的平面钢闸门结构计算软件（如图6）即可完成平面钢闸门结构计算。通过界面可直接读出各部件的计算结果，并可对设计参数进行调整。

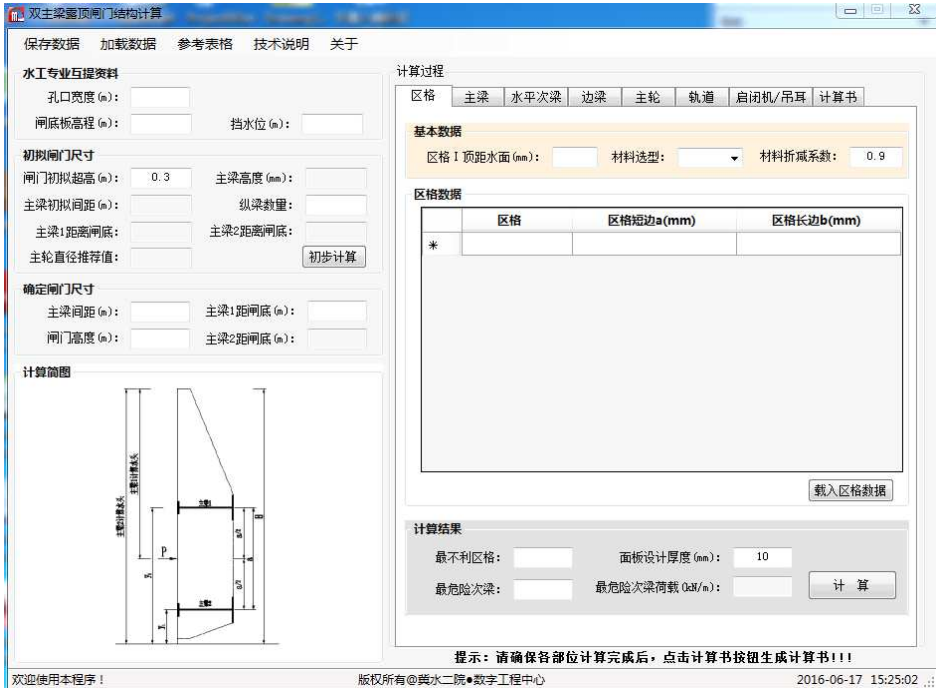


图6 水工平面钢闸门结构计算

闸门重心计算是通过将闸门各零部件重量分别对闸门面板求重力矩来求得。利用 Microsoft Excel 中计算实体体积（Object.ComputeVolume）和质心函数，可以得到闸门的各零部件重量和闸门重心，将繁琐的闸门重心计算过程程序化。

闸门总重=Round(Str(Σkg(n) * sl(n)), 2)

闸门重心=Round(Str(Σkg(n) * sl(n)*lj(n)), 2)/Round(Str(Σkg(n) * sl(n))

2.6 工程图生成

将生成的模型，通过剖切、侧视、俯视、三维轴测等视图方式保存不同的视图，并将其组合在图幅中加以标注和必要的修改即可完成工程图纸的生成，如图7、8所示。

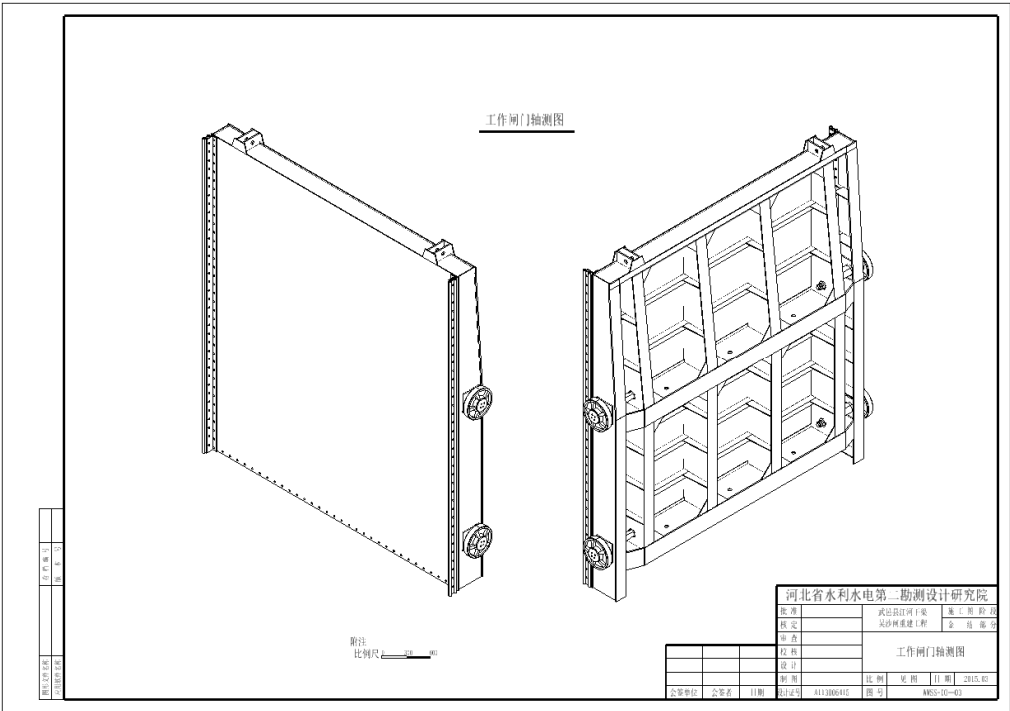


图 7 水工平面钢闸门三维轴测图

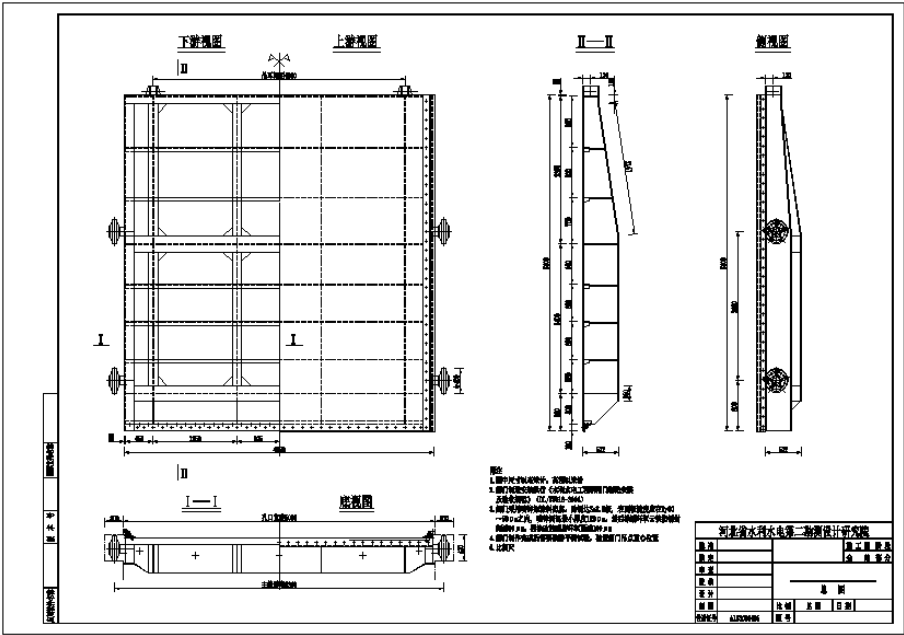


图 8 水工平面钢闸门总图

3 结语与展望

本文基于 BIM 和 Microsation 软件，对水工平面钢闸门的三维建模进行优化，实现了模型参数化设计，提高了设计效率和设计质量。参数化建模的设计过程精细、科学，设计图纸整洁、易懂、错误率低，深受业主、制造厂、安装单位的欢迎。基于数字化和信息化的三维设计已成为设计行业发展不可阻挡的主流趋势。通过添加设备信息将模型赋予生命然后进入后续的生成、安装以及运行管理环节。建立设备台账管理，以设备定期检修、定期维护、技术监督、预警性管理、技改管理为依托，以设备缺陷管理、运行值班管理等日常运营管理为抓手，以设备定值、设备异动、设备评级等管理为补充，建立一个系统化、立体化、动态化的设备管理体系。进而实现水工金属结构相关设备的全生命周期管理。

参考文献

- [1] SL71-2013, 水利水电工程钢闸门设计规范[S].
- [2] 李自冲, 杨亚彪, 马仁超, 余俊阳, 廖照邦. 三维软件 Invertor 在金属结构设计中的应用[C]. 水工机械技术 2012-2013 年论文集. 中国水利水电出版社, 2014.
- [3] 张雪才, 王正中, 孟明, 李路明. 水工钢闸门主梁的最优梁高[J]. 长江科学院院报. 2016, 33 (03) .
- [4] LY Zhang, Q Wei, WB Yin, XG Liu. A Research on the Intelligent System of Plane Steel Gates[J]. Applied Mechanics & Materials. 2014.
- [5] 杰里. 温特斯. 学习 MicroStation VBA [M]. 中国水利水电出版社, 知识产权出版社. 2007.

BIM 技术在水工钢闸门设计中的应用

刘润, 陈雪艳, 宋杰

(河南省水利勘测设计研究有限公司, 河南郑州 450016) (15136435987@163.com)

摘要: 针对传统水工钢闸门设计过程繁琐、自动化程度低、出图及修改过程耗时低效等现状, 运用 BIM 技术结合日常设计工作进行了可视化三维建模、自顶向下设计、快速生成工程图、参数化设计、FEA 与结构优化、虚拟样机仿真模拟、精准化工程数据、钢闸门 BIM 模型库等方面的探索和论述。实践证明: BIM 技术的应用提高了水工钢闸门的设计质量与效率, 为行业的发展提供了广阔的空间。

关键词: BIM 技术、钢闸门、三维设计、参数化、虚拟样机

1 引言

1.1 BIM 技术概述

作为工程与信息技术相结合的产物, BIM 技术是一项应用于设施全生命周期的三维数字化技术^[1]。它以贯彻整个生命周期的通用数据格式, 创建、收集该设施所有相关的信息并建立起信息协调的信息化模型作为项目决策的基础和共享信息的资源, 在促进工程全生命周期信息流动、提高工程建设质量、减少工程建设运营过程综合成本中, 起到了至关重要的支撑作用。

近年来, BIM 技术及相关应用推广受到了国家的重视, 其相关课题先后被科技部和住建部列为“十一五”国家科技支撑计划^[2]和“十二五”发展重点^[3]。BIM 技术源于建筑业, 但其应用广度已经远超建筑业的范畴, 在各种类型的基础设施建设项目中, 越来越多的项目在探索和应用 BIM 技术, 水工金属结构设计专业也在 BIM 技术应用中取得了一定的成果。

BIM 实质上包含了 Buliding Information Model、Buliding Information Modeling 和 Buliding Information Management^[4]。首先它是一个模型, 以 3D 为基础并集成了工程项目的各种相关数据, 是与工程相关信息的详尽的数字化表达; 其次它是一种建模方法, 应用于设计和建造的数字化方法; 最后, 它是一个系统, 在工程全生命周期中通过模型为载体实现信息的共享与各种流程的组织与控制。BIM 技术的特点主要体现在可视化操作、信息的完备性、关联与协调性和互用性^[5]。

1.2 水工钢闸门发展现状

钢闸门是水利水电枢纽的重要组成部分, 它配合水工建筑物完成防洪、灌溉、供水、发电等效益^[6], 在一定程度上决定着整个枢纽及下游人民的安全。据统计, 截止 2012 年底我国水库总库容达 8166 亿立方米^[7], 成为全球水库、大坝最多的国家, 库容和坝高不断刷新记录, 高水头、大孔口的闸门也越来越常见, 这对闸门在设计、结构优化、力学性能分析、动力稳定及振动控制等方面提出了新的要求。其次, 传统的设计思路和方法处于发展瓶颈, 通过 CAD 进行平面设计, 以平面体系的容许应力法^[8]进行力学性能分析存在很大的局限性。因此, 应用三维与数字化相结合的 BIM 技术来驱动钢闸门设计的发展具有重要意义。

2 BIM 技术在水工钢闸门设计中的应用

2.1 可视化三维建模

可视化是 BIM 技术最显而易见的特点, 应用 BIM 技术, 金属结构专业在可视化环境下进行闸门、构件的三维设计, 实现所画即所得, 直观简便, 如图 1 所示。

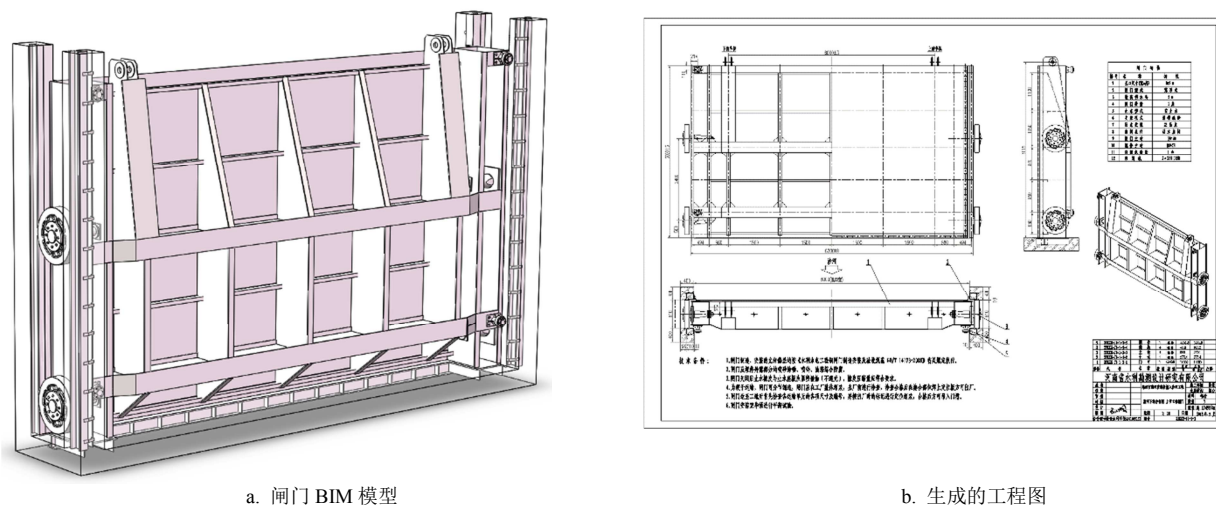


图 1 应用 BIM 技术进行闸门设计

在设计时，金属结构专业需要和水工、房建等多个专业进行协同配合，按建筑单元进行分工由不同人员单独设计。传统的设计流程是在得到上序专业提供的接口后进行布置、门型选择、结构计算、梁系布置和零部件的设计，随后先绘制出总装图，再拆分绘制零部件图及其他辅助视图。施工图的绘制、校审与修改耗费了大量的时间和精力。对于结构复杂的闸门，一方面用二维图来表达，需要添加多个剖视、大样图等辅助视图，另一方面校审人员和加工制造人员读图也比较困难，有时一些错误在加工完现场安装时才显现出来。

运用 BIM 技术进行闸门设计时，根据接口数据完成结构设计，用设计数据绘制三维零件，然后将零件实体进行装配成部件和总装，闸门总装与埋件、二期混凝土一起放入闸室的 BIM 模型进行配合。整个装配的过程也是设计自检的过程，碰撞、零件干涉、尺寸偏差、遗漏等错误能直观的被反映出来，避免了二维图校审中受限于绘图者表达、理解偏差和校审人员业务能力、细心程度等主观局限因素。

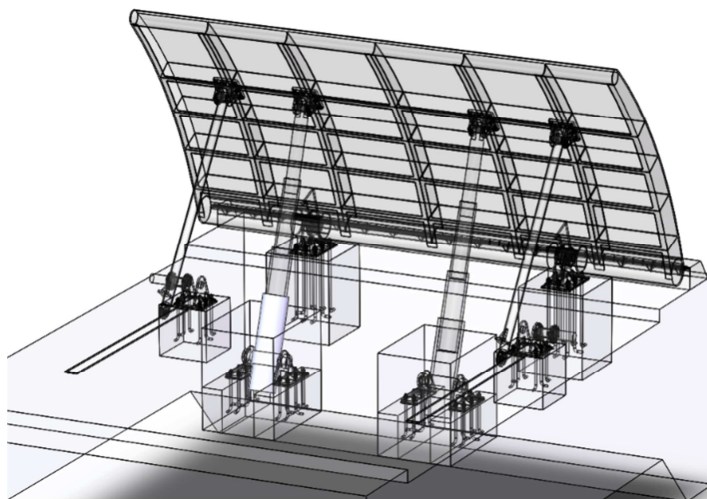


图 2：液压坝主油缸的自顶向下设计

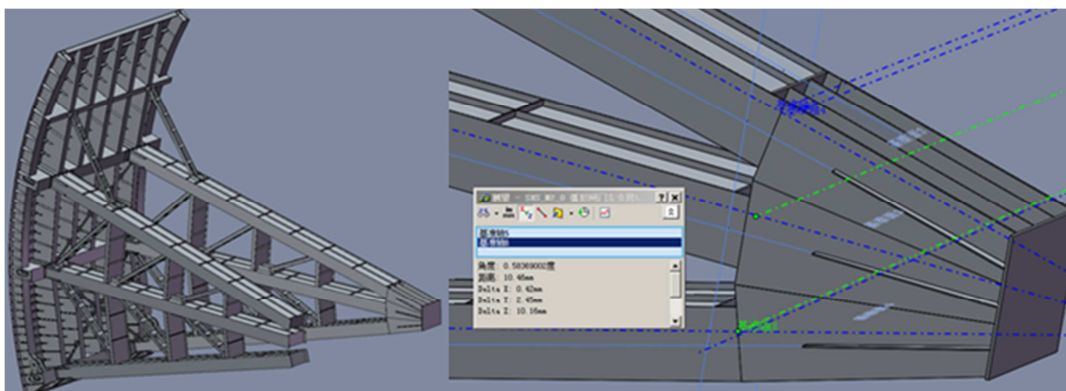


图 3: 三叉斜支臂弧形闸门支臂扭角求解

2.2 Top-Down Design 自顶向下设计

传统的设计方法是分别进行零件设计，完成后像堆积木一样进行装配，适用于零件间无参数关联。在设计之初，一些零件存在不确定因素且无法预期其尺寸在装配后以及运动时是否合理，运用自顶向下设计法，根据已有的确定轮廓作为参考对待求的零件进行机构运动验证以完成其设计，避免麻烦的试凑与修改过程，提高了设计效率。如图 2 所示为液压坝 BIM 模型，在进行主油缸的外形尺寸、行程及预留的二期混凝土尺寸设计时借用已设计好的闸门、支铰座、支撑杆等部件为参考，通过已有装配关系及闸门开度范围进行运动仿真最终确定各待求参数。图 3 所示为三叉斜支臂弧形闸门，传统的设计方法是建立空间几何模型通过三角函数求解，求解过程复杂、计算有误差且容易出错，通过自顶向下设计可以在装配体中放样建模后直接用软件测量得到扭角值，精确且方便。

2.3 快速生成工程图

产品的设计最终都是以二维工程图的形式来进行加工制造的，闸门的 BIM 模型在建模时具有了形位参数和装配关系参数，对各零件进行材质定义后便使模型拥有了物理属性。以 BIM 模型为基础可以快速生成整体、部件和各零件的工程图，除了标准三视图外可以根据模型的复杂程度在任意位置一键添加剖视、局部视图、投影视图等进行辅助表达。

生成完视图后进行尺寸的标注，BIM 软件都包含智能化的标注功能，可以在自动生成的基础上进行修改完善。通过修改材料明细表的模板可以一键快速生成符合要求的材料明细表，其中质量、数量、总重等参数都可自动求解无需人工计算。最后，补充技术说明、焊接、粗糙度等相关图纸要求便完成了工程出图。

2.4 参数化

BIM 模型为基于特征的参数化实体建模，属于“驱动尺寸控制法”，有别于采用手工绘图法和平面图学理念的二维 CAD 的“几何关系驱动法”。模型由各种“特征”组成，诸如拉伸、旋转、扫描、圆角、倒角等，建模过程包含了设计者的设计意图，如图 4 中，修改平面钢闸门主轮半径与其拉伸特征的尺寸，轮缘倒圆角会随之调整，改变螺栓孔或工艺孔阵列特征的参数，孔间距会自动改变。

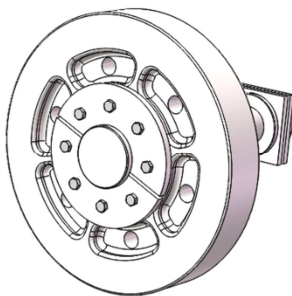


图 4: 平面钢闸门主轮模型

BIM 关联与协调性的特点除了体现在单个零件不同特征间的关联，零件、装配体、工程图及模型的物理属性都是相关联的，任意部分有修改，与之关联的图形都会自动更新，如闸门门叶部件中主梁数量的修改会使总装配体、工程图的各视图及材料明细表自动更新，大幅减少改图的工作量、提高改图效率，也避免了反复改图中出现的疏漏和错误。

2.5 FEA 与结构优化

传统上水工钢闸门在设计和计算时采用平面体系的容许应力法，通过简化的平面力学模型分别对结构和主要承力部件进行强度、刚度和稳定性计算。现状是设计人员借助简单的计算程序辅助设计或编写 Excel 表格辅助计算，其自动化程度较低，通用性差，易出现错误，且使用简化力学模型计算所得的结果不准确。对于复杂的空间结构件可能存在传统力学无法求解的问题。

经定义材质后，BIM 模型自动调用各材料的物理属性，通过合理的网格划分、添加边界条件可以对不同工况进行 FEA 分析，分析结果可指导设计、优化结构断面尺寸以及校核传统结构计算的结果等，如图 5 显示了运用 FEA 对表孔工作门的分析结果。FEA 分析无论从计算精度、结构通用性还是操作复杂程度上都优于传统力学求解，必将成为未来结构计算的趋势。

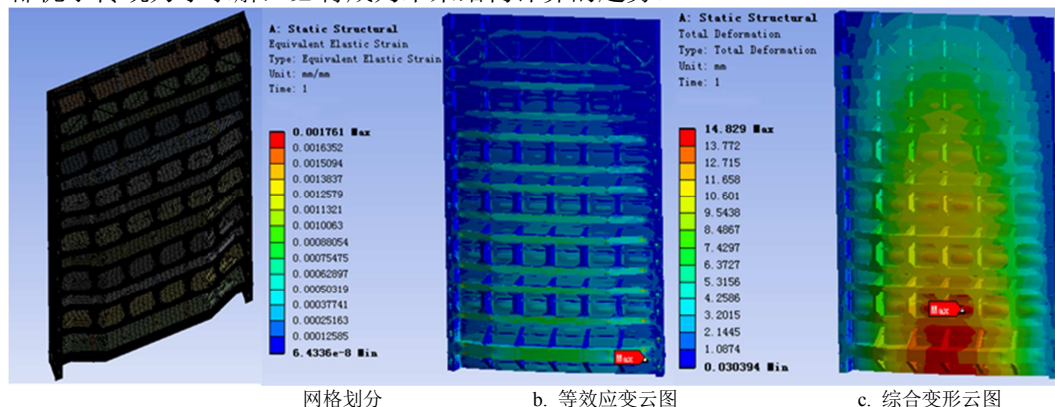


图 5：平面钢闸门 FEA 分析

2.6 虚拟样机仿真模拟

虚拟样机是对设计产品实际物理特性的模拟，可用于加工制造前对工程进行预览，也适用于方案比选、施工过程模拟和最终效果展示等。为了使看不懂工程图的客户理解设计，以往都会委托效果图制作公司对工程图进行三维效果渲染，但这种效果图仅在外形方面提供视觉效果，无法像 BIM 模型一样还可以进行物理特性仿真模拟。运用 BIM 技术，辅以相应的功能模块可以快速制作出演示动画，模拟闸门安装调试和过流效果等。图 6 为南水北调总干渠不停水修复工程科研项目，该项目从可行性研究、初步设计、施工图、施工等各阶段都运用了 BIM 技术，目前项目正在进行钢围堰的施工下水。

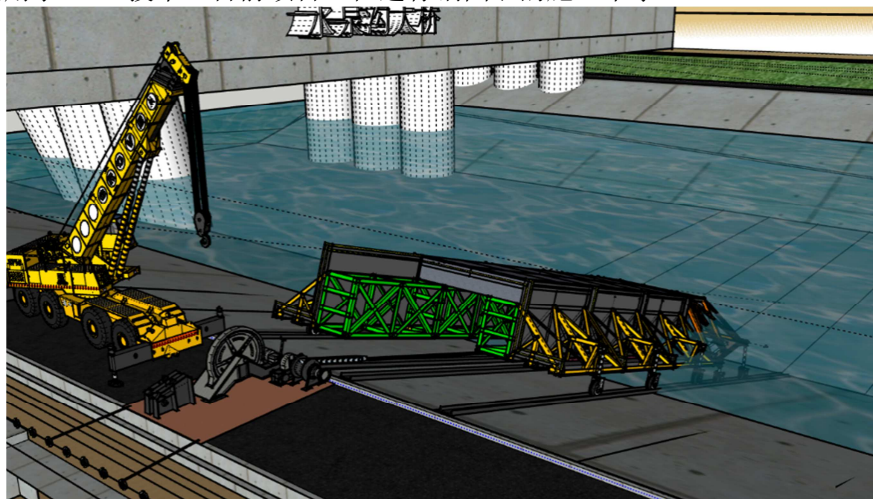


图 6：南水北调总干渠不停水修复工程蓬式钢围堰施工模拟

2.7 精准化工程数据

闸门吊耳设计时需要计算闸门重心以确定吊耳孔位置，传统的手算重心方法比较费事且容易产生偏差，而在完成 BIM 建模后，重心、体积、表面积、惯性矩、截面模量等精确的数据都会自动生成。重心可用于确定吊点中心距，惯性矩、截面模量可用于截面特性计算，表面积可用于估算防腐涂装用量等。精准化的

工程数据在统计工程量、核算工程造价等方面比传统手工统计有明显的优势。

2.8 钢闸门 BIM 模型库

水工钢闸门都是根据工程按需定制, 批量小且属于非标设计, 提高设计的通用互换性、构建本专业的标准化体系是专业建设的方向。运用 BIM 技术搭建了钢闸门的通用模型库, 实现了快速调用建模。以平面钢闸门为例, 如图 7 所示, 闸门模型最底层由一张布局图驱动, 可以调整梁的数量以及间距。梁分为标准截面和非标截面, 标准截面直接调用国标库, 非标截面需要借助用户搭建公式驱动的参数化库, 由此梁系可方便调用拉伸生成, 然后修剪重合部位、修改变截面处拼接, 添加面板、吊耳便完成了门叶部分。主轮、侧轮、止水等零部件相对标准, 可以制作成系列化的零件库在装配时修改调用。

通过统计对比, 全新绘制一套平面闸门二维工程图需要 2-3 周时间, 绘制 BIM 模型需要 1 周时间, 借助 BIM 模型库绘制模型仅需 1 天时间, 由此可见运用和发展 BIM 技术的重要性。

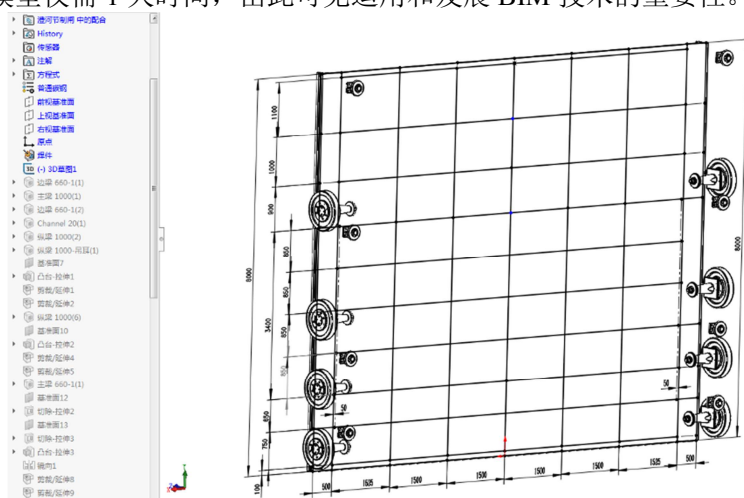


图 7: 通过布局图驱动的平面钢闸门 BIM 模型

3 结语

BIM 技术在水工钢闸门设计中的应用提高了工作效率, 解放了设计者的生产力, 工程设计人员不用再埋头于繁杂的工程图绘制、修改与校审中, 可以将更多精力放在新结构、新工艺、新技术的研发上。传统闸门设计正逐步吸纳融合新技术和新平台的优势, BIM 技术的应用推动了水工金属结构专业的发展。

参考文献

- [1] 李建成, 王广斌. BIM 应用导论[M]. 上海: 同济大学出版社, 2015.
- [2] 中华人民共和国科学技术部. “十一五”国家科技支撑计划重点项目申请指南[EB/OL]. (2007-08-30)
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2011-2015 年建筑业信息化发展纲要[EB/OL]. (2011-05-10) bSI. About buliding SMART [EB/OL]. (2013-05-16)
- [4] 陶书东, 李树海, 刘成鑫, 刘晓光. 大型船闸金属结构 BIM 技术的应用[J]. 水运工程, 2018, (1): 123-128.
- [5] 刘细龙, 陈福荣. 闸门与启闭设备[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [6] 王正中, 张雪才, 刘计良. 大型水工钢闸门的研究进展及发展趋势[J]. 水力发电学报, 2017, 36 (10): 1-18.
- [7] 水电站机电设计手册编写组. 水电站机电设计手册金属结构[M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.

BIM 技术在引绰济辽工程稳流连接池设计中的应用

李国宁肖志远王雪岩李利荣

(内蒙古自治区水利水电勘测设计院, 内蒙古呼和浩特 010020)

摘要: 本文根据引绰济辽工程稳流连接池设计方案, 制定了总体技术路线, 分别阐述了水工结构、金属结构和建筑结构的建模方法, 介绍了模型在各软件间无缝导入和整合漫游的技术流程, 总结了 BIM 技术应用于水利水电工程设计领域的思路和前景。

关键词: 引绰济辽; BIM; 三维模型

1 引言

BIM 技术是一种融合数字化、信息化和智能化技术的设计和管理方法, 以三维数字技术为基础, 集成了工程项目各种相关信息, 最终形成工程数据模型, 是对工程项目设施实体与功能特性的数字化表达。BIM 技术可以利用强大的三维造型表达手段和工程属性关联技术, 更好地表达设计意图, 更准确地定义各种工程对象, 更方便地进行专业配合, 更直观地展示设计成果。BIM 技术给工程界带来了重大变化, 深刻地影响工程领域的现有生产方式和管理模式, 是提高工程设计效率和质量的有效方法。BIM 技术不仅仅是狭义上的设计工具和设计手段, 更是设计思维的转变、设计流程的改进和项目管理的革新, 其在设计行业替代传统二维设计的格局已势不可挡。

2 工程简介

引绰济辽工程是一项从嫩江支流绰尔河引水到西辽河, 向沿线城市及工业园区供水的大型引水工程, 结合灌溉, 兼顾发电等综合利用。工程由水源工程文得根水利枢纽和输水工程组成, 工程多年平均引水量 4.54 亿 m^3 。输水工程由取水口、隧洞、暗涵、倒虹吸、稳流连接池、压力管道及其附属建筑物等组成, 线路总长 390.263km, 引水渠首设计流量为 $18.58\text{m}^3/\text{s}$, 输水工程末端设计流量为 $8.83\text{m}^3/\text{s}$ 。引绰济辽工程跨流域引水, 实现通辽市、兴安盟地区间水资源优化配置; 调节绰尔河流域水资源, 为区域经济社会发展提供水资源保障; 改善西辽河干流地区地下水超采问题, 缓解该地区生态环境持续恶化的状况。

3 稳流连接池设计

输水工程山区段为无压输水线路, 平原区为压力输水线路, 为了使无压水流向有压水流顺利过渡, 保证山区段为无压重力流、平原区为有压重力流, 需在无压和有压水流连接位置设置稳流连接池。稳流连接池位于 6#隧洞之后与 PCCP 管的连接段上, 水工结构由渐变段、沉沙池段、连接段、水闸段、集水池段和出水管段等部分组成, 设两孔检修闸、一孔退水闸。正常运行时, 检修闸常开, 拦污清污设备工作, 退水闸常关, 主管线通水。事故检修闸门用于 PCCP 管、调流调压阀、旋转滤网检修及其他紧急状况时闭门挡水; 拦污栅负责拦截上游来水中的污物, 提栅清污; 旋转滤网作为精细滤水设备, 对通过拦污栅的原水进行第二次过滤, 避免污物进入 PCCP 管道, 保护下游调流调压阀, 保证其正常工作。

4 总体技术路线

欧特克(Autodesk)系列 BIM 软件在软件产品的行业适应性、兼容性、开放性、知识重用性、协同设计性、可开发性、易用性等方面具有突出的优点; 并且欧特克软件有广泛的群众基础和长期的应用历史, 其设计界面、设计习惯已深入人心。在该平台的 BIM 解决方案中, 每个专业都有一款主干软件可以很好的解决本专业的专业问题, 例如用于金属结构和水工结构建模的 Inventor, 用于建筑结构和机电设备建模的 Revit, 用于土工、开挖、地形、道路建模的 Civil 3D, 这些软件都功能强大, 自成一体, 在各专业可以进行充分的深度应用。近年来, 欧特克又推出了用于碰撞检查和模型漫游的 Navisworks, 用于方案布

作者简介: 李国宁 (1984-), 男, 高级工程师, 主要从事水工金属结构设计工作和水利水电工程 BIM 技术研究应用, liguoning0823@163.com

置和概念设计的 Infracore,同时完善了项目协同平台 Vault,这三款软件解决了各软件的整合和协同问题。总体技术路线如图 1 所示。

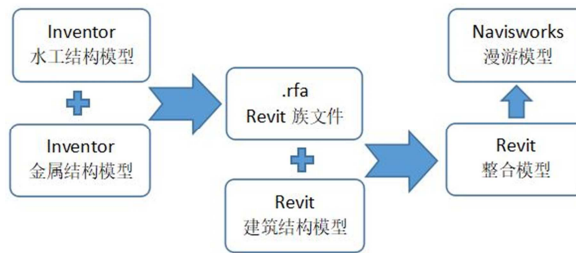


图 1 总体技术路线图

5 BIM 模型构建

5.1 水工结构模型

稳流连接池的水工结构大部分为规整的几何结构,通过拉伸、开孔、挖槽等操作便可完成建模,只有渐变段上游截面为城门洞形,下游截面为矩形,截面尺寸和形状不同,需通过放样命令实现平滑过渡。采用自顶向下的建模思想,分别完成各段水工结构的多实体建模,通过“生成零部件”命令将实体升级为零件,自动生成底板、闸墩、胸墙等零件,为后续三维配筋做准备。水工结构建模时最需要注意的问题是坐标系的布置,各段模型所采用的坐标体系应一致,如底槛均为 XY 面、顺水流方向中心面均为 XZ 面、垂直水流方向起始面均为 YZ 面。一致的坐标体系有利于模型整体组装和修改。水工结构模型如图 2、图 3 所示。

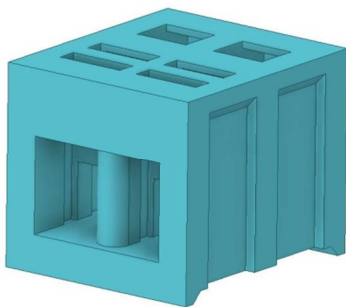


图 2 闸室段水工结构模型

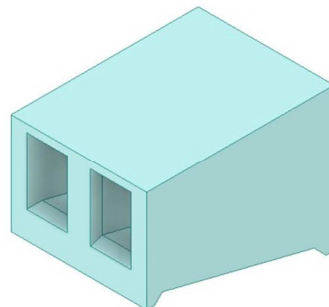


图 3 集水池段水工结构模型

5.2 金属结构模型

Inventor 软件在三维机械设计和二维工程图领域有着很强的优势和适用性,经过多年的应用和开发,我们制定了水工金属结构程序化计算、参数化建模和关联出图的整体解决方案,应用非常普遍和成熟。就水工钢闸门而言,应根据其不同零部件各自的特点,采用不同的处理方式:如全参数化门叶模型、调用资源中心库标准件、建立系列件模型库、直接开孔挖槽等。具体工程实践中,先根据原始设计参数进行闸门结构程序化计算,得到的设计结果参数写到 Excel 数据文件中,门叶三维参数化模型提取结果数据,改变模型,开孔、开槽;接着选用系列件模型库中的主轮、侧轮、吊耳等;然后根据闸门尺寸,设置止水零件参数,改变止水模型;最后将各零部件通过调用资源中心库中的标准件安装于门叶上,完成建模,进而出版二维工程图。金属结构模型如图 4 所示。

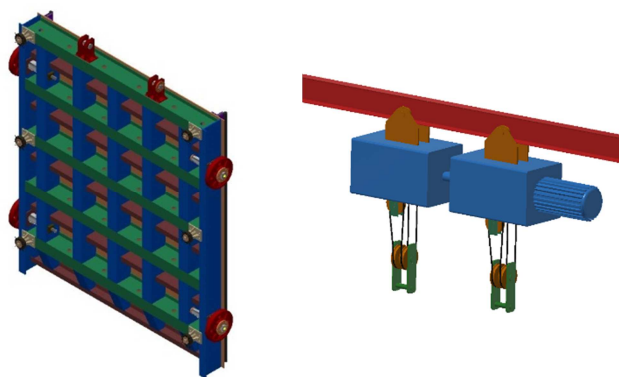


图4 事故检修闸门及移动卷扬式启闭机模型

5.3 建筑结构模型

Revit 系列软件是为建筑信息模型(BIM)构建的,可帮助建筑设计师设计、建造和维护质量更好、能效更高的建筑;能够帮助设计师在项目设计流程中探究最新颖的设计概念和外观,并能在整个施工文档中忠实传达设计理念。稳流连接池建筑结构的设计正是充分利用了 Revit 的特点和优势,将建筑造型与字母形状相结合,每个单体建筑的一个立面用字母 Logo 相搭配;用水文化与工程字母相结合,每一个建筑物代表着一种含义,在满足使用功能的前提下,从不同的角度出发,表述水资源的珍贵以及工程的意义,呼吁人们合理用水,杜绝浪费,珍爱水源。退水闸启闭机室模型如图 5 所示。

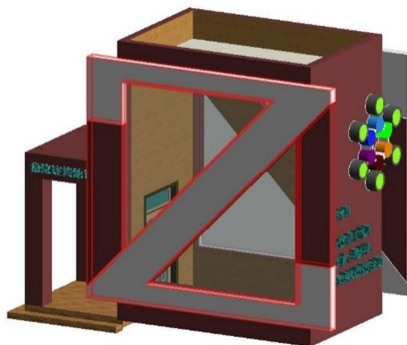


图5 退水闸启闭机室模型

5.4 模型整合与漫游

Inventor 和 Revit 出自同一个软件厂商,两款软件之间有无缝的数据接口,各自的模型可以相互导入。Revit 中创建的模型附加有颜色、材质等特性,导入到 Inventor 中时,虽然模型结构完整,但材质信息丢失,不能很好的展示建筑设计风格。所以,模型整合总的思路是金属结构模型和水工结构模型在 Inventor 中整合,通过“BIM 内容”-“导出建筑零部件”命令生成.rfa 族文件,然后在 Revit 中导入该族文件,放置建筑结构模型,最终通过“外部工具”命令无缝导入 Navisworks,完成整合漫游和碰撞检查。稳流连接池整合剖切模型如图 6 所示。

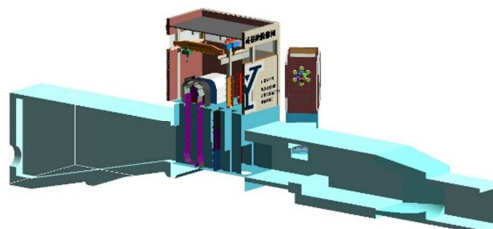


图6 稳流连接池整合剖切模型

6 结论与展望

(1) 水利水电工程设计包括水工、金属结构、建筑、机电、施工等不同专业,开展 BIM 设计时,应

根据专业各自的不同特点和需要解决的不同问题对症下药。各专业分开应用适合本专业软件的时候，可以根据该软件本身的特点和优势，独立自主的进行深入的研究，充分解决本专业的设计问题；需要项目协同和总体布置的时候，重点研究各专业模型的数据接口和相互的关联性，集中整合。

（2）稳流连接池的 BIM 设计只是初步尝试和技术验证，随着研究应用的深入，需要利用 Vault 软件搭建项目协同平台，建立资源中心库，定制协同数据库，实现数据无缝流通、模型广泛共享、项目高度协同。

参考文献

- [1] 刘志明，刘辉. BIM 技术在提高水利水电工程建设现代化水平中的探讨[J]. 水利规划与设计. 2018（2）.
- [2] 解凌飞，李德. 基于 BIM 技术的螺山泵站主泵房三维配筋设计[J]. 水利规划与设计. 2018（2）.
- [3] 暴占军. 谈 Autodesk 平台在河道一体化设计中应用[J]. 水利规划与设计. 2018（2）.
- [4] 郑曦，陈龙，邸南思，魏珉. 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）.
- [5] 李国宁，王雪岩，阿木古楞，王文强. 水工钢闸门三维参数化设计理论基础与工程实践[J]. 水利规划与设计. 2018（2）.

水工钢闸门三维参数化设计的理论基础与工程实践

李国宁, 王雪岩, 阿木古楞, 王文强

(内蒙古自治区水利水电勘测设计院, 内蒙古呼和浩特 010020)

摘要: 本文阐述了水工钢闸门三维参数化设计的理论基础, 包括闸门三维参数化建模的适用性、总体技术路线、基本原理、模型架构及模型参数化的平衡问题; 总结了进行水工钢闸门三维参数化设计的技术关键和优缺点; 介绍了水工钢闸门三维参数化设计的工程实践应用情况。

关键词: 钢闸门; 三维设计; 参数化; 工程图

1 引言

经过几代人的努力, 水工钢闸门设计方面有了很大的进步, 闸门计算和设计效率大幅提高, 所设计闸门的种类不断丰富。但迄今为止没有专业的闸门计算软件, 我们只能采用传统的 Excel 电子表格及一些非专业软件辅助完成闸门计算, 虽然现在我们都采用电子计算稿, 但完成一份完整的闸门计算书, 少则一周, 多则数周, 尤其是当设计方案变化后, 又要重新计算一遍, 费时费力, 而且极易出错。在闸门制图方面, 钢闸门的设计属于产品设计, 工程图的绘制工作量非常大, 项目工期紧张的时候, 更容易导致工程图出现错误。借助于 AutoCAD 软件, 我们已经实现了无纸化设计, 相比手工绘图能大大提高设计效率, 但其不够完善, 同样存在与闸门计算类似的问题, 在原始设计资料变动的情况下, 设计完成的图纸需要重新手工调整, 修改闸门图纸的工作量很大, 而且极易出错。

在计算机辅助设计 (CAD) 技术不断发展的今天, 三维 CAD 技术在各行业得到了广泛应用, 而在水利水电行业, 目前还只是开始阶段。随着各大设计院对三维设计的逐步重视, 三维深化设计替代二维传统设计的革新时代已经到来, 闸门的程序化计算、三维参数化设计、结构有限元分析和运动学、动力学动态仿真必将成为未来水工钢闸门设计的发展趋势。

2 适用性

水工钢闸门设计有两个突出特点: 一是闸门类型不多, 最常用的就是平面钢闸门和弧形钢闸门, 相似工况的工程完全可以采用同类闸门, 只是孔口和水头的差别, 决定着闸门的大小不同; 二是闸门上的各个附件及部件大部分都是标准件和系列件, 如工字钢、槽钢、角钢、主轮、侧轮、滑块、止水、吊耳、充水阀、螺栓、螺母、垫片等。闸门的这两个特点, 为闸门的三维参数化设计提供了有利条件, 即三维参数化设计方法特别适用于水工钢闸门设计。

3 总体技术路线

充分发挥各软件的优点, 运用 MATLAB 语言编制拦污栅、平面闸门和弧形闸门的设计计算程序, 利用 VB 设计交互式界面, 采用 ACCESS 作为数据库, 通过 Math CAD 输出计算稿; 解决各软件间的数据接口问题, 开发闸门程序化设计计算系统, 并实现自动输出设计结果和完整的电子计算稿, 提高闸门设计计算的效率。在三维参数化建模平台 Auto Desk Inventor 环境下, 建立各种闸门的三维参数化模型; 以 Excel 电子表格为数据载体, 将闸门设计计算程序得到的结果数据传送到三维参数化模型, 通过数据来改变模型, 进而改变与模型相关联的二维工程图, 实现参数化绘图, 提高出图效率和产品质量。建立好的三维模型可以通过数据接口导入到分析软件和仿真软件, 进一步完成闸门的结构有限元分析和运动学、动力学动态仿真, 实现闸门设计的高级应用。总体技术路线图如图 1 所示。

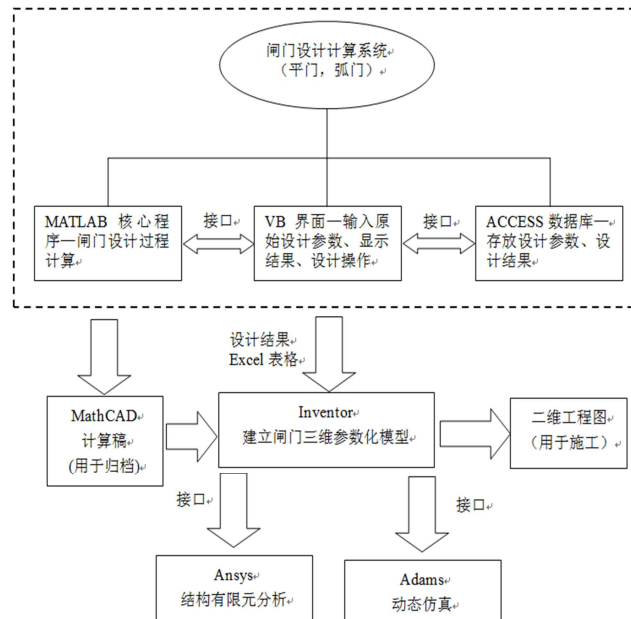


图 1 总体技术路线图

4 三维参数化模型

4.1 基本原理

传统的二维绘图，是在已知尺寸的情况下，绘制图形，然后标注尺寸，尺寸只能反映图形的大小，无法影响图形。参数化的基本原理是绘制图形的同时添加尺寸，尺寸不仅能反映图形大小，还能影响图形，尺寸改变，图形也跟着改变，即尺寸驱动。将尺寸数据保存到一张参数表中，每一个参数各自命名，建模时调用该名称，或者设置数据共享，实现数据链接，通过改变参数表来改变三维模型，进而改变与之相关联的二维工程图。三维参数化的基本原理如图 2 所示。



图 2 三维参数化的基本原理

4.2 模型架构

闸门模型的建立具有很大的灵活性和自由度，同样的闸门，不同的人，不同的思路，会建成不同的模型；甚至同一个人，同样的闸门，前后两次建立的模型也可能不同。从外观上看，模型是一样的，但其参数的设置，约束的选取，建模的顺序及包含的信息，都可能截然不同，模型的实用性和适应性也大相径庭。

就水工钢闸门而言，应根据其不同零部件各自的特点，采用不同的处理方式：

(1) 门叶——焊接件，尺寸关联性强，参数少，种类少；建立全参数化模型，通过参数表或 Excel 电子表格控制门叶模型。

(2) 标准件——螺栓、螺母、垫片、密封圈、齿轮、轴用零件、阀、角钢、槽钢、工字钢等结构型材，这些都是机械标准件，可以直接调用资源中心库，使用非常方便。

(3) 系列件——主轮、侧轮、滑块、吊耳、充水阀等，这些部件虽未标准化，但在金属结构设计手册

等书籍中,对其主要尺寸进行了规定,完成了“系列化”;另外,这些部件的尺寸较多,较杂,参数太多,不适于建立参数化模型。对系列件的处理方法是,建立完备的系列件库,把每个型号规格的系列件建成模型库,使用的时候,调用即可。

(4) 常用件——各类水封、止水垫、止水压板等,称其为常用件。这类零件断面尺寸相对固定,只是使用长度和螺栓孔的大小、位置不同。针对这一特点,处理方法是建立半参数化模型,断面非参数化,长度和孔参数化,根据使用需求,设定不同的长度和孔数、孔距即可。

(5) 孔、槽等——对于闸门上的螺栓孔、漏水孔、锁定槽、轮槽、板、加强筋等结构,进行常规的三维操作就行了,这部分结构的工作量不大,无需且难于参数化。

具体工程实践中,先根据原始设计参数进行闸门结构计算,得到的设计结果参数写到 Excel 数据文件中,门叶三维参数化模型提取结果数据,改变模型,开孔、开槽;接着选用系列件模型库中的主轮、侧轮、吊耳等;然后根据闸门尺寸,设置止水零件参数,改变止水模型;最后将各零部件通过调用资源中心库中的标准件安装于门叶上,完成建模。闸门三维参数化模型架构如图 3 所示。

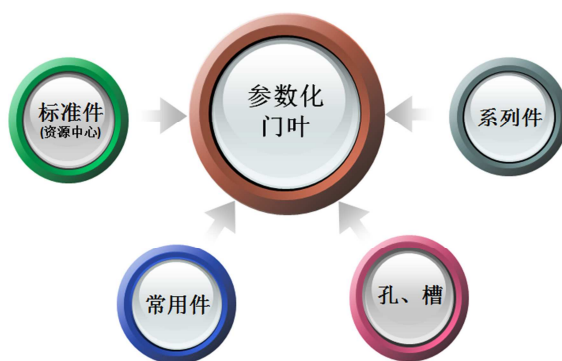


图 3 闸门三维参数化模型架构

4.3 模型参数化的平衡

参数化的三维闸门模型,并不是参数化的越彻底越好,也不是傻瓜型的模型就是最佳模型。如果整个闸门的所有零部件都做成参数化模型,则需要大量的尺寸参数,设计者就要把大部分精力放到如何理顺繁杂的参数表上,反倒费时费力。而且,参数越多越容易出错,稍有不慎,就会导致模型报错,甚至崩溃,陷入死循环。因此,要以设计效率和产品质量最高为原则,合理分配参数化部分和非参数化部分,根据零部件自身不同的特点,采用不同的处理方法,实现模型参数化的平衡。

5 技术关键与优缺点

5.1 技术关键

(1) 模型参数化的平衡,以设计效率和产品质量最高为原则,合理分配参数化部分和非参数化部分,根据零部件自身不同的特点,采用不同的处理方法,实现模型参数化的平衡。

(2) 闸门设计计算系统子模块与闸门计算总程序的衔接,根据闸门各结构件的计算特点,确定哪些部分适合做系统子模块,哪些部分适合编到总程序中,二者的数据如何交换等。

(3) 闸门设计计算系统与三维参数化模型间的数据接口问题,数据接口起到纽带的作用,只有成功解决了数据接口问题,整个技术路线才能得以实现。

5.2 优点

(1) 在进行三维模型设计的时候,设计者拥有比二维绘图环境中更强烈的“设计”感;同时,在模型构建的过程中,可以更直观的根据已建的部分及时、合理的调整设计思路。

(2) 闸门的三维模型中包含施工图、加工制造以及安装时所需的大量信息,零部件都附加了尺寸、数量、材料属性及配合关系,使得材料明细表可以自动生成,借助这个模型,可以快速生成施工图纸,显著提高工作效率及设计精度,大幅度提高生产力。

(3) 参数表与模型自动相互关联,工程图与模型之间关联设计,当参数表发生改动的时候,模型中与之关联的所有零件都会自动发生合理改变,即零部件具有“自适应”能力;同时,所有工程图中与修改相

关的部分均会自动进行相应修改，此项特点彻底解决了二维设计环境中修改工程图过程顾此失彼的局面。

(4) 干涉（碰撞）自查功能可以让设计人员及时、直观发现和校正装配中的错误，避免在设计及安装过程中由于产品之间干涉所带来的不必要的麻烦，而这在二维绘图环境中是无法实现的。

(5) 实体模型与工程图的严格一一对应关系及软件中的干涉检查功能，可以大幅减轻校核人员和审查人员的工作强度。

5.3 缺点

(1) 前期需投入大量时间学习软件，整理思路，转变设计思维，牺牲工作效率。

(2) 参数化使同一类型的闸门结构相对固定，一定程度实现了产品的标准化、系列化，使产品缺少个性。

(3) 工程图某些地方无法完全达到制图规范要求或符合传统制图习惯。

(4) 模型建立不完善的话，会不断报错，甚至崩溃，后期修改、处理非常费事。

6 工程实践

从 2010 年年底开始，经过 7 多年时间的项目开发和工程应用，我们已创建了基本完备的常用零部件模型库；构建了 10 种类型钢闸门的门叶参数化模型，基本覆盖了常用闸门种类，满足了日常应用需求；开发了拦污栅设计计算系统；完成了 30 多个工程、60 多个闸门的三维建模；利用三维设计方法出版了施工图纸 60 多套、800 余张，三维参数化设计方法在金属结构专业进行了有效的推广，在水库、枢纽、供水、电站、水闸、灌区、景观等各类工程中均得到应用，显著提高了金属结构专业的图纸质量和设计效率，取得了良好的效果。另外，通过金属结构专业开展的水工钢闸门三维参数化设计试点，使三维设计的理念和优势深入人心，起到了很好的宣传和示范作用。

参考文献

- [1] 何玉新, 李敬泽. 基于 Inventor 的水工钢闸门与启闭机的三维深化设计简介[J]. 水工机械技术 2008 年论文集. 2008
- [2] 余迎宾, 陈相楠, 贾刚. 基于 CATIA 软件的水工钢闸门三维设计[J]. 水工机械技术 2008 年论文集. 2008
- [3] 宋江毅, 姜永健, 邓雪松. Inventor 三维参数化设计的应用[J]. 水工机械技术 2009 年论文集. 2009
- [4] 姜永健, 宋江毅, 邓雪松. 浅谈三维设计在金属结构中的应用[J]. 水工机械技术 2009 年论文集. 2009
- [5] 邓雪松, 姜永健, 宋江毅. 基于 Inventor 虚拟约束在装配约束的应用研究 [J]. 水工机械技术 2009 年论文集. 2009
- [6] 杨锡阶. 平面钢闸门参数化设计 CAD 软件研制与开发[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2006.
- [7] 俞建. 平面闸门可视化 CAD 集成系统研究[D]. 南京: 河海大学, 2003.
- [8] 孙琳. 平面定轮闸门三维有限元分析[J]. 水利规划与设计, 2013 (5): 37-40.

BIM 在启闭机研发中的应用——“星联集驱”卷扬启闭机数字样机介绍

钟卫华，王波，张静

（江苏省水利机械制造有限公司江苏扬州 225000）

摘要以达索的 SolidWorks 软件作为软件平台，结合水利工程“星联集驱”启闭机实际研发，介绍了“星联集驱”启闭机的原理、结构、设计理念。简要介绍启闭设备 BIM 应用的一些关键技术。

关键词 BIM；参数化；“星联集驱”数字化样机；实例化模型

1 前言

BIM 作为信息化、模型化、可视化技术，强调在项目（或设备产品）全生命周期内对其数据的应用价值。伴随着计算机技术的迅速发展，BIM 作为 CAD 技术领域的一项新理念在本世纪初悄然兴起。近年来 BIM 得到了长足发展，不仅在制造业得到深度应用，而且在建筑、交通、水利水电等基础设施领域亦越来越多地得以应用。这些应用除了可处理几何模型及其信息外，也可映像 3D 模型构件的非几何属性如：设备、材料编码、施工程序、物料、设备、人员时间及成本，并依托 BIM 构件库，将构件数据库延伸至 AR、VR、智能楼宇系统、4D 进度管理、5D 成本控管、BIM-ERP、设施管理(Facility Management)、资产管理(Asset Management)与运维管理(Operation Management)等技术领域。同时 BIM 正在迅速与互联网、物联网、云端及大数据技术集成整合，其发展前景不可限量。

2 “星联集驱”启闭机的原理

“星联集驱”是指一种行星齿轮集成驱动系统，本文简称“星联集驱”。众所周知，普通圆柱齿轮减速机的速比一般都小于 500，而卷扬式启闭机的速比一般需要达到 1000 以上，大吨位的慢速启闭机的速比甚至要求达到 2000-3000，标准减速机难以满足卷扬式启闭机的大速比需求。近年来，出现了三环、双环、摆线、行星等体积较小，速比较大的标准减速装置，但总的来讲，受这些减速机的连接形式等因素所限，致使启闭机体积偏大，水利工程传统卷扬式启闭机与市场需求之间的矛盾渐显，我们必须另辟蹊径。

因少齿差减速装置在输出扭矩大、结构紧凑等方面的优势，本机在研发过程中，巧妙地利用这些优势，消除传统配置中技术弊端，具体措施是：将末端传动采用内置于卷筒内部的单双级行星减速机构，更好地发挥了行星传动大扭矩输出的特点，剩余速比采用标准减速装置，安装于双吊点卷扬装置的中间，既起到联轴作用，又解决了大吊点距中间轴挠度过大的矛盾。

集中驱动模块安装于左、右机的中间，每台启闭机只有一台起升电机（因受电机功率限制，超大吨位需采用双电机），为了减少上下游方向的尺寸，本机采用标准的 K 系列减速电机，带制动装置的电机可以采用垂直安装，使得集中驱动模块的上下游方向尺寸和左右机的机架一致。

为尽可能减少上下游方向尺寸，本机的滑轮组布置采用同面的布置，即卷筒中心、定滑轮组中心、动滑轮组中心，三线一面（同一垂直面）。定滑轮组根据工程需要，可内置于机架内部，并预留更换、检修操作空间。

“星联集驱”启闭机由集中驱动模块，内置于卷筒单双级行星模块和同面卷筒滑轮组模块组成，实现了卷扬启闭机的最大程度的紧凑型布置，各类吨位的启闭机在上下游方向上的尺寸仅仅比卷筒直径略大，节省了工作桥（启闭机房）的空间，更方便使用、检修和维护。

3 开发平台

“星联集驱”启闭机的研发设计，采用 BIM 正向设计的工作流程，在 SolidWorks 环境中完成数字化样机模型。SolidWorks 软件为行业内众所周知，限于篇幅，不对软件作赘述。

作者简介：钟卫华（1969-）男，江苏靖江人，高级工程师，主要从事水工金属结构研制。

4 模型参数化技术研究

在产品研发设计过程中,零部件的标准化、系列化、通用化是提高设计质量,缩短产品设计开发周期的有效手段。模型参数化是 BIM 核心技术之一,通过研究表明,参数化技术可以很好地实现零部件的标准化、系列化、通用化。参数的概念来源于数学,BIM 引进这一概念后,与尺寸联动技术结合,不仅使模型的精度、可控制性、操作性、重复使用率得到大幅提高,更重要的是,它将非几何信息通过参数植入模型文件中,使模型的信息化程度空前丰富,模型本构形态质感与实体几乎一样,达到了高度仿真的程度,模型不仅具有衍生派生能力,而且可以为产品的制造、维修等全生命周期的运用、维护管理提供必要的信息。

“星联集驱”启闭机的研发,应用 BIM 参数化技术,将设计意图、产品工作原理通过参数化模型表达出来,在 Solidworks 软件中建立数字化样机。

5 “星联集驱”启闭机数字样机

数字样机技术是基于产品描述的数字化平台,通过建立基于计算机的数字化样机模型,并在产品全生命周期内使用,以达到减少或避免使用物理样机的一种产品开发技术。“星联集驱”启闭机数字样机主要研究内容包括:研究“星联集驱”启闭机的智能化设计工作流程,对主要零件进行有限元分析,对部件及子部件进行动态模拟,研究启闭机、闸门总装模型与相关专业的协同设计,建立卷筒、滑轮组等系列化零部件库。

卷扬式启闭机的类型主要有 QH 系列弧门启闭机和 QP 系列平门启闭机。下面简要介绍这两个系列的启闭机的数字化样机。

5.1 QH 系列弧门启闭机数字样机

首先对 QH 系列弧门启闭机技术特性进行梳理,然后分析罗列各零部件的参数,研究参数逻辑关系,建立零件参数化模型和部件子部件,最后由标准件模型、实例化零件模型装配形成数字化样机。零件的有限元分析、子部件的运动模拟穿插其间。

根据启闭机工况,常规卷筒有两种形式,分别为单联和双联。弧门启闭机的零部件的种类比较少,主要分成卷筒装置、行星联接盘、轴承座、机架、驱动装置等。将这些零件及子部件模型建好后再进行装配,从而形成启闭机的总装模型,由部件和零件分别生成对应的装配工程图和零件工程图。

下图 1 为“星联集驱”双联启闭机实例化模型,图 2 为其总图(工程图)样例。

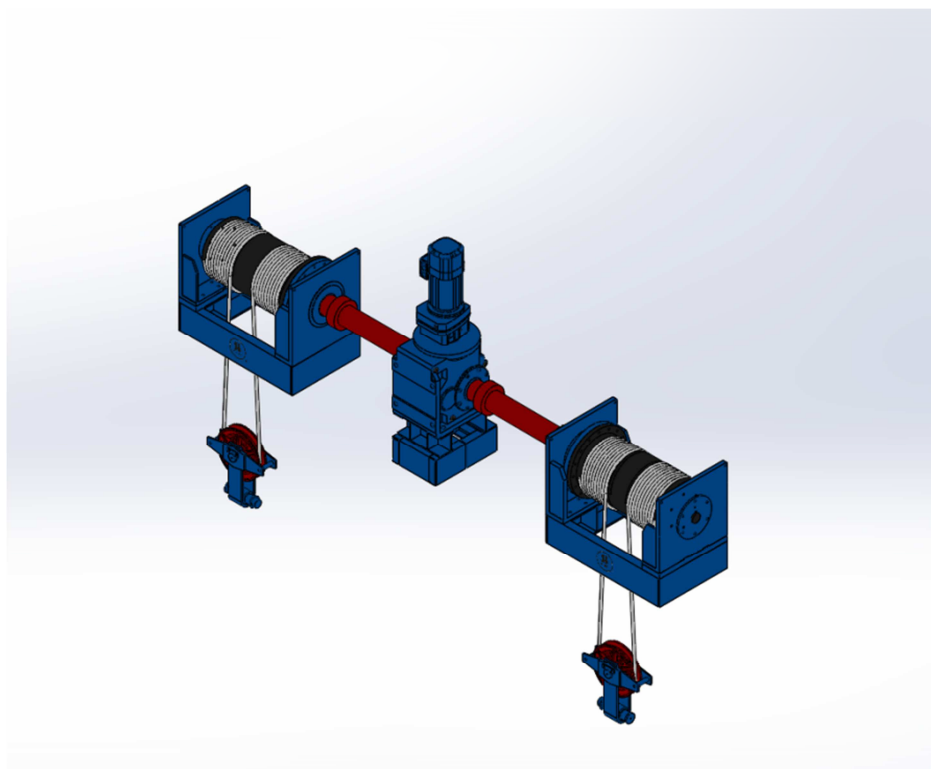


图 1

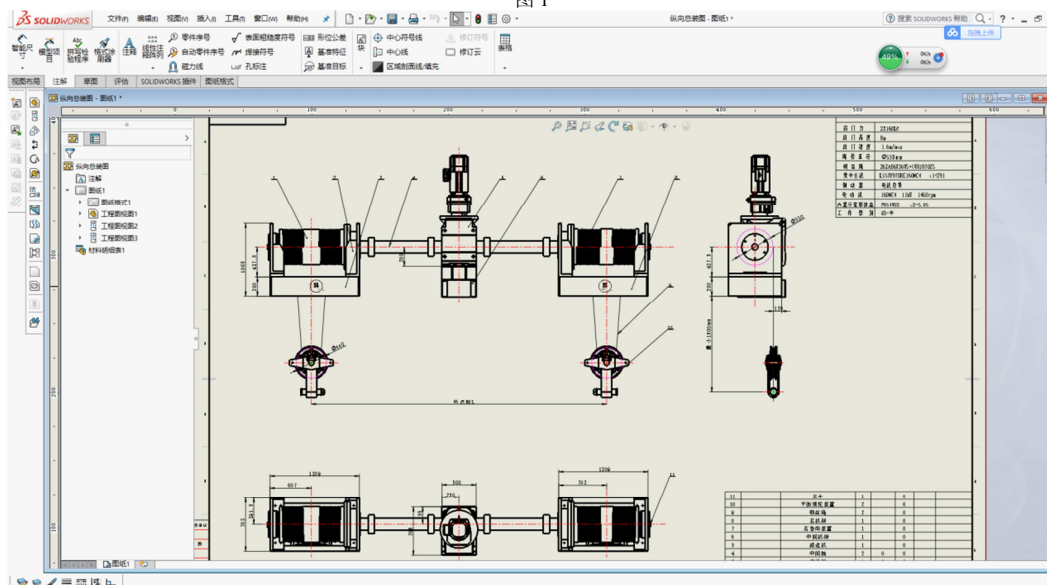


图 2

5.2 QP 系列平门启闭机数字样机

平门启闭机的总速比较小,但也可以发挥行星减速末端大扭矩输出的特点,内置单级行星,集中驱动部分也可以选择速比更小的小型减速装置,仍可实现直线型布置,实现体积的最大优化。

平门启闭机的种类比较多,按倍率分有 2 倍,4 倍,6 倍,8 倍,10 倍;按扬程又有低扬程和高扬程之分;零部件种类较多,且零件、子部件之间的配合较多,因此平门启闭机的参数化模型创建比较复杂。采用同面卷筒滑轮组布置,使其结构上更显紧凑。下图 3 为 2 倍率实例化模型,图 4 为 2 倍率总图(工程图)样例。下图 5 为 4 倍率实例化模型,图 6 为 4 倍率总图(工程图)样例。

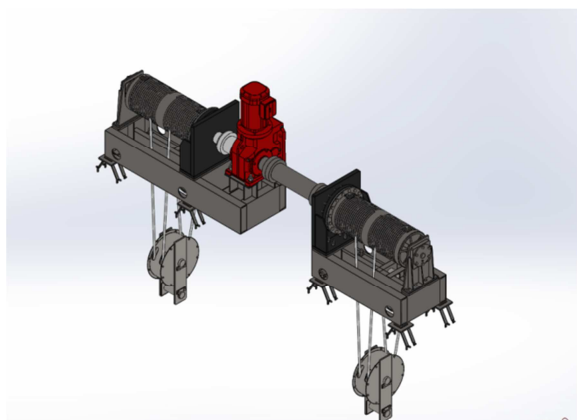


图 3

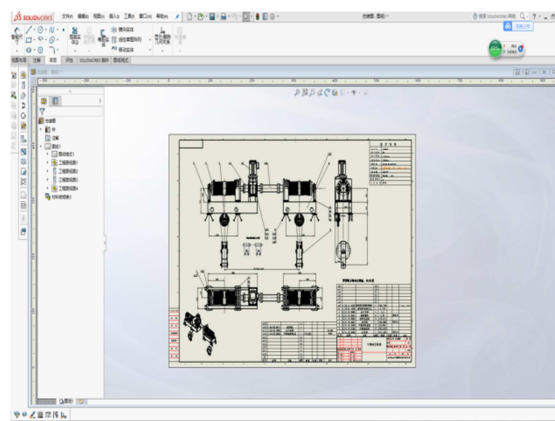


图 4

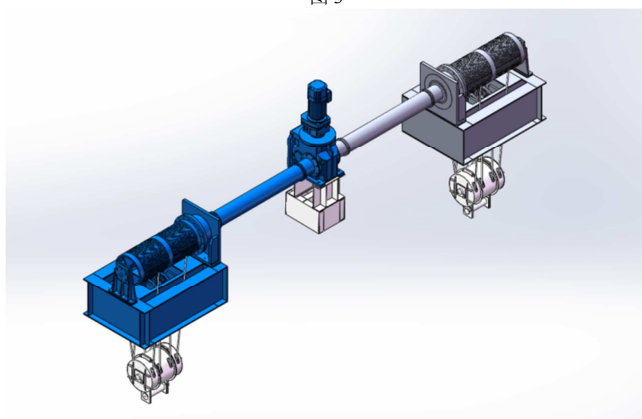


图 5

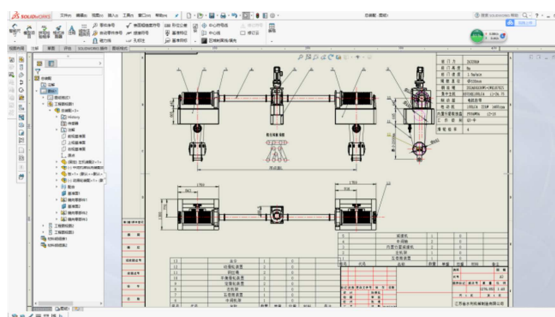


图 6

6 结语

在 Solidworks 平台上用 BIM 正向设计来进行产品的研发,提高了研发设计的准确性,缩短研发周期,通过数字化样机,减少了差错,优化生产工艺,让设计开发人员有更多的时间去创新、创造。

值得一提的是,模型参数化并非一蹴而就,对于复杂或者陌生的模型,往往要通过多次建立非参数化模型的过程,才能理清该模型的参数设置及其逻辑关系。

数字样机通常涉及机械、控制、电子、流体动力等多个不同领域。要想对产品进行完整而准确的仿真分析,必须将多个不同学科领域的子系统作为一个整体进行仿真分析,限于水平我们还没能做到这个程度。

参考文献

- [1] 《solidworks 零件与装配体教程》(美) DSsolidworks 公司著陈超祥胡其登主编机械工业出版社
- [2] 《闸门与启闭设备》刘细龙陈福荣编著中国水利水电出版社
- [3] 《机械设计手册》成大先主编第 5 版化学工业出版社
- [4] 《水电站机电设计手册金属结构(二)》水电站机电设计手册编写组水利电力出版社
- [5] 《水利水电工程启闭机设计规范 SL-41》

CAD/CAE 技术在钢闸门数字化设计中的实践

王文武¹, 王正中^{1,*}, 翟超¹, 赵春龙²

(1. 西北农林科技大学旱区寒区水工程安全研究中心, 陕西杨凌 712100; 2. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 西安 710065)

摘要:为解决钢闸门传统设计工作中存在的设计理论依据不完善, 设计任务量大、效率低, 设计与数字化工程建设需求相脱节等问题, 本文结合 CAD/CAE 技术与优化设计理念, 深入探索了钢闸门数字化设计的新思路, 形成了一套适用于钢闸门设计的完整结构体系, 并对关键的技术应用做了详细的阐述。在已有模版成果的基础上, 高效的完成了某一工程大型平面钢闸门的设计工作, 兼顾了其结构的安全性及经济性, 并取得了良好经济效益。通过该项工作, 弥补了钢闸门传统设计中存在的问题, 对于降低工程投资、提高产品质量、提升钢闸门设计水平的意义重大, 同时为今后钢闸门走向智能化设计提供参考。

关键词: 钢闸门; 数字化设计; CAD/CAE 技术; BIM

1 引言

近年来, 由于地理条件的制约, 我国水电资源的开发不断地向西部山区迈进, 高坝的建设已成为一种行业趋势。钢闸门作为水工建筑物中重要的调蓄装置, 为了适应高坝建设新的布置形式及运行调度管理等要求, 其相应的设计尺寸越来越大^[1,2]。以黄河上游已建成的拉西瓦电站为例, 其最大坝高 250m, 事故闸门尺寸已达 4m×9m-132.0m (宽×高-水头)。钢闸门高水头、大型化的发展, 使得其的设计工作难度大大增加, 同时其工程投资占比也有所提高。

钢闸门由板材及型钢通过一定的加工与连接形成, 是一种典型的以薄壁构件为主的空间结构体系, 其设计计算方法一直以来采用《水利水电工程钢闸门设计规范》^[3] (以下简称“规范”) 推荐的平面容许应力法。虽然该方法使用简便但由于未考虑结构的整体空间效应及自重效应, 其计算结果往往与实际结构的受力状况并不相符, 因此很难实现安全性与经济性的统一, 同时对于超规范的钢闸门设计往往缺乏依据。随着计算机技术的日新月异, 更加贴近闸门工作实况的空间结构分析方法得以迅速发展, 并广泛应用, 如方致远等^[4]采用三维有限元对弧门进行优化设计; 张雪才等^[5]对闸坝一体化模型受力特征进行分析等, 均取得良好的应用效果。显然计算条件已不是空间结构分析方法的瓶颈, 且它可以作为传统方法的一种有效辅助设计手段。此外, 从设计过程上来看, 钢闸门的设计一直延续手工计算, 之后采用二维绘图软件逐线绘制的方式, 不仅工作量大、易出错、不易修改、设计形式单一, 且成果为非结构化数据难以重复利用, 特别是对于较为复杂的钢闸门, 问题更为严重。随着“数字化”、“BIM”理念浪潮到来, 不仅为解决上述问题提供了思路, 同时也为未来以建设“三维数字化工程”为目标的发展指明了方向, 钢闸门的数字化设计势在必行。

目前, 已有不少的学者已对钢闸门的数字化设计进行了深入探讨。魏群^[6]等针对于传统钢闸门设计的问题, 在 BIM 技术的基础上成功开发了一套集设计-分析-出图一体的平面钢闸门设计专用软件, 这对于我国钢结构设计水平的提升是一次飞跃, 但是该软件在使用过程中多有不便, 难以真正投入生产应用, 且模型数据难与现有的 BIM 云平台直接对接, 不方便多专业协同设计及二次利用。王蒂^[7]等虽利用 CATIA 软件完成了钢闸门的参数化建模及有限元分析, 并通过修改参数驱动模型以完成优化设计, 但该优化仅仅是尺寸的优化, 并不能形成多方案的优选, 此外计算精度还有待提高。王可^[8]等基于 CATIA 平台, 重点探讨了钢闸门参数化设计技术, 并且应用 CATIA CAA 进行工具条二次开发, 虽有助于钢闸门的快速设计, 但模型的搭建从底层开始较为费时费力。鉴于此, 钢闸门的数字化设计水平还难以满足生产高效、功能多样化的需求, 还有待进一步的提高及完善。

钢闸门的数字化设计并不是简单的三维实体建模及出图的一个过程, 而是较为系统的、有数据库支撑的一个以设计产品工作性能为导向的、参数控制的、动态优化过程, 因此离不开 CAD(Computer Aided Design) 及 CAE(Computer Aided Engineering) 技术的支持。CATIA 是一款造型功能十分强大的 CAD 软件, 且参数化、知识工程功能及出图能力非常强大, 较适合金属结构专业的特点, 尽管自带有限元分析模块, 但是与专业的有限元软件相比, 功能还需完善, 精度还有待提高。ANSYS 作为 CAE 分析中较为出色的一款通用软件, 具备功能强大、计算速度快的优点, 但是对于复杂结构的建模远不如主流三维造型软件。因此为发挥两者在各自领域的优势, 将 CAD 与 CAE 技术结合起来, 以期实现钢闸门的数字化设计。

作者简介: 王文武(1993—), 男, 硕士生, E-mail: wangwenwu@nwfafu.edu.cn

本文在现有研究工作的基础上,考虑未来数字化多专业协同设计的必要,结合 CAD/CAE 技术及优化设计理论深入探索钢闸门数字化设计的新思路、新方法,形成一套适用于钢闸门设计的通用、灵活、完整的结构体系,旨在让钢闸门设计工作简单化、高效化,设计的产品性能更高、更经济、更安全。最后依托已有技术成果,以某大型平面钢闸门三维数字化设计为例,实现快速高效分析、优化设计的目标及出图的任务。通过该项工作,有效的解决了“钢闸门设计工作难”的问题,同时为今后钢闸门走向智能化设计奠定了基础。

2 钢闸门数字化设计方法

传统钢闸门设计的都需要经过资料收集与分析、闸门的选型与布置、闸门门体及零部件设计计算、施工图纸的绘制这一过程,而基于 CAD/CAE 技术的钢闸门数字化设计其实质是对传统设计过程的一种继承与功能的一种扩展,即数字化设计依然需要以前期的设计计算结果作为初始输入,通过 CAD 技术快速组建三维参数化的几何模型,辅以 CAE 工程分析优化及自动出图等功能。

2.1 数字化设计结构体系框架

数字化设计结构体系的构建模式关系到设计既定功能的能否实现及后期的使用的便捷性、可利用程度的高低,因此框架搭建必须紧密结合生产实践所需,以实际生产功能需求作为导向,最大限度的给予通用性灵活可扩充性,同时努力与未来的发展方向相契合。根据钢闸门的构造特征及设计基本要求,探索建立形成了一套技术可行,方便高效的钢闸门数字化设计结构体系,其构成框架如图 1 所示。

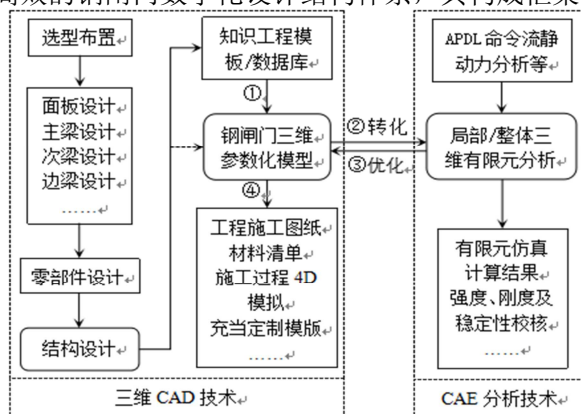


图 1 钢闸门数字化设计结构体系构成框架

从图 1 可以看出,数字化设计结构体系中数值模拟、优化设计、工程出图等既定功能的实现,主要依托于 CAD/CAE 技术,辅以模型转化及结构优化设计理念的支撑。钢闸门结构设计作为数字化设计的基础工作,在闸门选型与布置方案确定后便开始,主要进行门体布置及结构、零部件的设计计算,其结果作为三维模型建立的初始输入条件。而三维参数化模型作为整个数字化设计结构体系的核心,紧接其结构设计工作后,其建立的方式主要有两种,一是可通过调用钢闸门标准模型数据库中的三级模版,即零件模版、部件模版、装配模版,然后简单调整相关参数实现;二是采用直接建模的方式,逐步完成零部件模型至装配模型。显然第一种方式使用比较便捷,效率较高,但必须依托于现有的数据库模型支撑才能完成,而第二种方式则限制较少,简单开放,但是面对钢闸门这样复杂的结构逐步搭建费时费力。考虑到钢闸门型式的多种多样,一方面模版难以覆盖所有可能出现的类型且无法统一化,另外短时间数据库的标准化模型有限亟需扩充,因此有必要结合两种方法来互补提高建模效率。特别地,在这一阶段参数化模型的建立仅仅只是针对于闸门的主要承载结构,包括:面板、主梁、次梁、边梁、顶梁和底梁、联结系等,而次要部件,如止水、行走支承、连接螺栓、吊耳等零件,均不予考虑,这样做的目的在于保证其计算精度的基础上便于后续工程分析工作。

三维有限元仿真分析作为闸门优化设计及结构校核的依据,其计算必须是在有限元模型的基础上,而已有的三维主体结构模型作为几何模型,难以直接参与计算,因此首先要通过相关的有限元前处理软件完成模型转化。在获得高质量的网格模型后,通过施加边界条件及多工况荷载,指定分析类型及求解方法,后处理便能得到相应计算结果。

钢闸门的优化其目的主要是为了提高设计产品的性能,同时进一步降低投资成本,依据规范判断产品

整体或局部的静动力特性能否满足要求,若不能满足,可通过修改结构的设计方案,或者修改模型参数(包括几何参数和属性参数),再进行工程分析,直至满足为止;若能满足但结构材料的利用程度较低,则依然可以对结构进一步优化,以得到更加合理、经济更优的钢闸门结构。在主体结构定型之后,要使实际设计生产的钢闸门发挥灵活运行调度及调蓄控水的能力,还必须要基于 CAD 模型装配必要的零部件,以构成完整的闸门结构,并在此模型基础上创建关联的二维工程施工图纸。

以上分析中也不难看出, CAD 模型是 CAE 工程分析的基础,而 CAE 计算结果作为 CAD 模型参数驱动的依据。钢闸门数字化设计其实是一个在初步设计产品的基础上进行的有限元分析并指导修改设计最终完成产品定型的过程,其重要环节有:闸门主体结构三维参数化建模,几何模型向有限元模型转化,工程分析及参数优化。该方法尽管能够实现设计目的但该过程未免显得有些复杂且周期较长,因此很难达到高效率的设计要求。为此,为进一步提升设计效率,结合各环节的特点,选取较为费时的建模分析计算阶段,深化模版的应用,即一方面建立知识工程模版数据库,搜集常见的闸门结构,以丰富三级模版的类型及数量,建模时直接调用;另一方面,由于有限元静动力分析计算过程具有极大的相似性,因此,可以将命令流等作为一种特殊的模版工具,使用时只需简单参数修改即可。

2.2 CAD 建模关键技术

本文中 CAD 技术依托于 CATIA 建模软件,主要运用在三维模型的建立过程中,包括:

1 骨架关联设计思路。钢闸门门叶结构一般为焊接件,为制造加工方便其构件布置总有一定的规律,因而比较适合建立轴网作为模型骨架。通过发布定位点、线及面的方式实现模型搭建,这种方式其优势在于不仅符合设计者的设计思路,能使设计工作者更加专注于结构形式的布置及优化,还可通过轴网参数来实现快速修改及重复利用。图 2 是正是基于轴网骨架建立的闸门门叶结构,轴网间距代表各构件的布置几何关系。

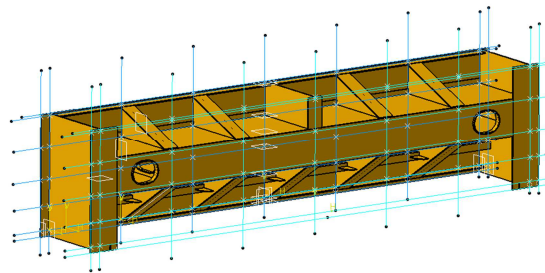


图 2 基于轴网建立的闸门门叶结构图

2 参数化关联设计及参数管理。参数化设计三维设计的灵魂,也是设计思想的集成体现。其实质是一种解决设计约束问题的数学方法,通过参数把设计图元过程中需要的数字信息相关联,修改参数即可实现模型驱动等功能,从而大大提高模型的生成及修改速度,在产品系列设计、相似设计及优化设计中具有很高的价值。在 CATIA 中可以直接修改系统参数、用户参数或采用公式、设计表、规则等方法间接修改参数,从而达到驱动模型改变的目的。但是由于闸门结构组成几何要素多且关系复杂,若每一个基本图元特征都产生一系列参数,大量的参数也难于管理,因此,一方面针对闸门各构件结合优化设计的意图,采用参数建模与约束建模方式,只选取关键控制指标作为参数,如闸门整体层面控制参数:孔口尺寸(宽×高)、闸门尺寸、封水尺寸、设计水头、主梁位置等,其余只施加几何约束或尺寸约束。另一方面,为了便于参数的识别及统一管理,有必要按照闸门的功能特性及装配级别进行规范化命名,如闸门面板厚度可采用 MB_T 来表示,具体见下图 3 所示。

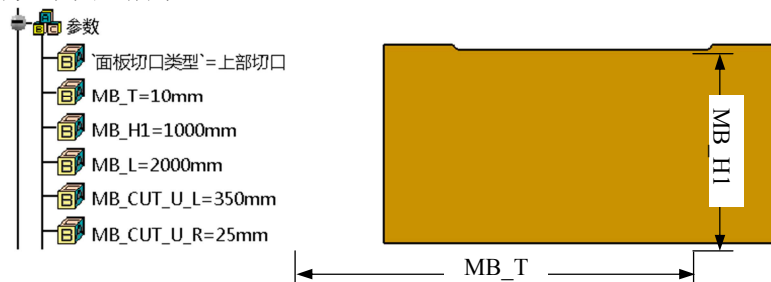


图 3 平门面板三维参数化模型

3 知识工程模版数据库创建。模版是将一些已经运用成熟的智能知识如技术经验、控制关系等封装打

包,只留出一些输入条件作为调用接口。模版的应用使得建模工作简单化,同时对于缩短产品的设计周期具有十分重要的意义,因此创建并完善数据库至关重要。在 CATIA 软件中,为我们提供了完备的知识工程专家系统及数据库管理系统,利用该平台不仅可以非常便捷的创建各级别的模版,如常用的超级副本、用户特征等,还能将已建金结专业相关成果(标准模版、设计表、规则等)分类加载至 Catalog 数据库管理平台中,便于后期查找调用。

在创建标准模版前首先要了解闸门结构的基本组成。平面钢闸门作为应用最为广泛的门型之一,其由可以上下移动的门叶结构、埋固构件两大部分所组成,其中门叶结构设计作为本文阐述的重点。门叶结构是由面板、梁格(主梁、次梁和边梁)、横向和纵向联结系(即横向和纵向支撑)、行走支承(滑轮或滑块)以及止水等部件所组成。之后,采用面向对象的设计方法,以面板、主梁、次梁、隔板等分别作为独立基础类型,按类进行统计归纳,结合参数化设计形成通用的模版类型或者系列模型。如常见的主梁截面形式有 T 形、工字形、箱型(分别对应图 4 中的 a,b,c)等,其均可以看作是由 1 个腹板及 2 个翼缘构成,因此可以将这三型式主梁合并为一体,通过参数即可灵活控制显示型式,见图 4(d)所示。此外,也可以将这三种截面型式系列化,以三个模版形式展现,按照不同编号加以区别。

以上所创建的模版一般以超级副本或用户特征的形式结合骨架模型调用,构成最基础的一级模版库,即零件模版。另外,平面钢闸门由于安装制造的需要及运输条件的限制,通常都会将钢闸门进行分节设计制造,每节的空间构型及大小基本保持一致,因此在零件模版基础上,闸门三维模型也可以直接以门叶节为单元进行装配,门叶节单元即构成二级模版库,即部件模版,相比于底层零件模版搭建效率较高。最后,考虑到常用闸门类型的相似性及为了将实施后项目成果的再次利用,因此直接创建了钢闸门类型库,构成三级模版,即装配模版。在钢闸门的建模过程中,根据所需按匹配度最适的原则,任意的选择模版进行重建。以上提及的三级模版(见图 5)构成了知识工程数据库的核心,除此之外,设计表、规则及参数说明等也是必备要素。

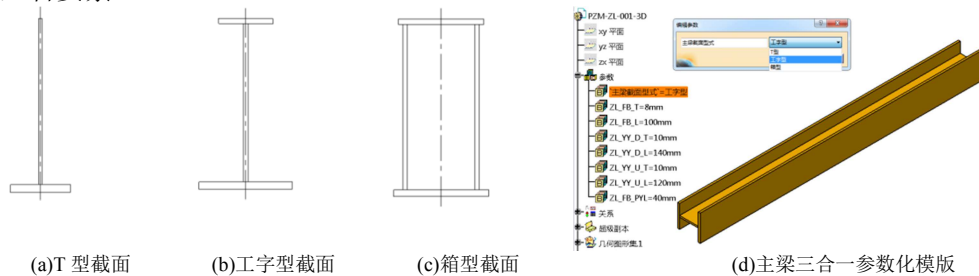
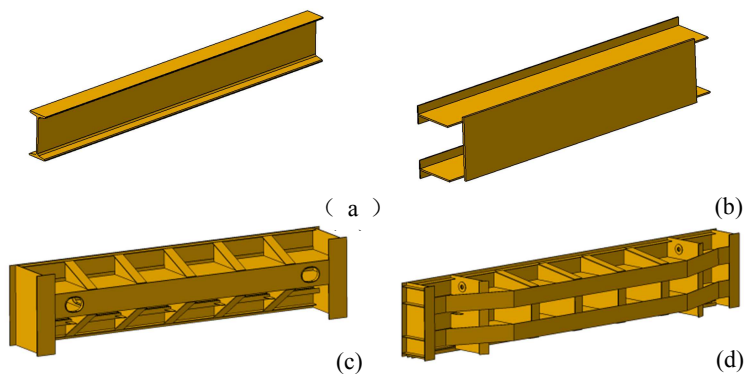


图 4 平面钢闸门三种常见的主梁截面型式



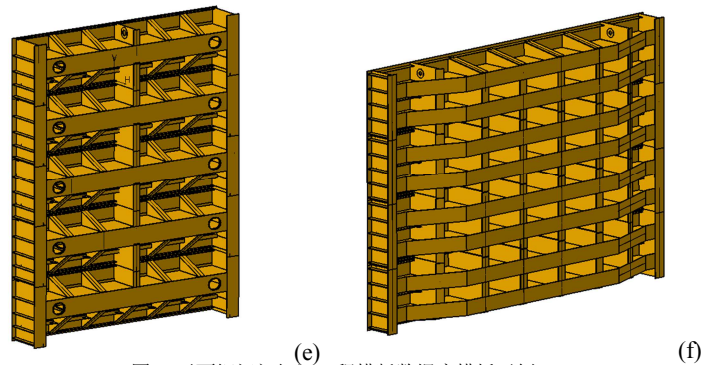


图5 平面钢闸门知识工程模版数据库模版示例

其中：(a)(b)为零件模版；(c)(d)为部件模版；(e)(f)为装配模版

2.3 CAD/CAE 模型转换技术

在钢闸门 CAD 主体模型已建立的情况下，为了提高 CAE 计算分析效率，避免重复的建模工作，首要任务必须要实现三维几何模型向有限元模型的转化。通常，一般的有限元分析软件都预留了几何模型导入的数据接口，可以直接进行数据的交互，从而达到上述目的。但考虑到钢闸门大部分构件是由薄壁钢板经焊接组合而成，其厚度方向的尺寸远比其他两个方向的尺寸小得多，在划分网格时为了保证合理的单元质量，必须将单元划分的足够小，这样以来将会产生非常庞大的网格数量，造成计算时间成本过大，间接导致后期优化无法快速进行的问题。因此，在对钢闸门实体模型进行有限元模拟时，需要将实体模型转换为曲面模型，再划分成相应的板壳单元进行有限元分析。由于板壳单元为二维面单元，可以模拟中等厚度或薄壳结构，其厚度参数由单元的厚度属性来表达，采用壳单元代替实体单元最大优势在于，大大减少划分的单元数量，可以合理控制单元尺寸并能保证较高的求解精度。

由三维实体模型转换为三维曲面模型的关键要点在于抽取中面的过程，可以借助专业的有限元前处理软件 Hypermesh 完成。软件在默认情况下，通过抽取每一薄板的中性层面而形成新的曲面模型，为了保证相邻中面之间保持原有模型的拓扑连接关系，因此在抽取中面后必须进行拓扑连接关系处理，以形成一个完整连续的三维曲面模型。在此曲面模型基础上，利用该软件进行网格控制操作及划分，以保证网格的高质量，最后输出.cdb 文件。此过程中所形成的曲面模型及网格模型效果如图 6 所示。

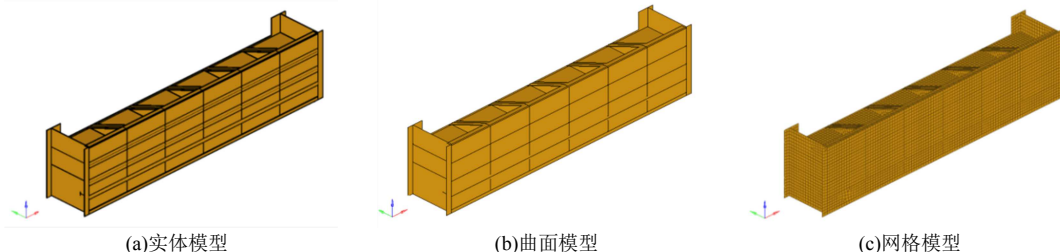


图6 实体模型、曲面模型及网格模型效果图

2.4 CAE 工程分析技术

利用三维建模及模型转换后的技术成果，使用有限元分析软件 ANSYS 对钢闸门门叶主体结构进行多工况力学分析，以确定钢闸门各工况下的受力状态。其结果既是对闸门设计正确性的验证，同时也有助于找出初步设计中的不足之处，为后期的结构优化提供修改依据，以保证闸门结构的安全可靠。

ANSYS 作为一款出色的结构分析计算软件，其核心主要包括：前处理模块，分析计算模块和后处理模块。其中前处理模块主要负责构造有限元模型，分析计算模块用于确定分析类型、边界约束及加载求解，后处理模块可将计算结果以彩色云图或列表方式显示并输出。由于钢闸门三维有限元模型已经建立，因此可以直接进入到分析计算模块，进行边界条件及分析求解类型的设定。这里的边界条件主要包括约束及荷载，在结构分析中的约束一般为位移约束，荷载主要为集中荷载（吊点力），表面荷载（水压力），体荷载（重力）等，其施加的方式、位置及大小应最大程度的接近真实的受力状态。同时为了方便准确定义边界条件，可先将模型分为不同类型组件，施加约束或荷载时直接选取。在 ANSYS 中求解之前还需要确定分析类型并设置求解控制选项，以此来获得较为满意结果。计算完成之后，进入到后处理模块，依需查看其整体或局部的计算结果。APDL(ANSYS Parametric Design Language)是该软件的一大特色，利用它可以编写出参数化的用户程序，从而实现有限元分析的全过程。从上面分析可知，钢闸门有限元模型导入 ANSYS

软件之后,其分析过程基本都一致,因此可以定制一套完整的分析命令流作为模版,后期类似的计算分析只需简单的修改一些参数即可快速完成。

3 工程应用

3.1 几何模型与有限元模型

以西部某大型水电站工程机组进水口快速闸门设计为例,已知其闸门型式为平面滑动闸门,底坎高程 2690.0m,设计水位为 2715.0m,孔口性质为潜孔式,孔口尺寸(宽×高)为 9m×10m,止水尺寸为 9.15m×10.1m,支撑跨距为 9.6m,水容重取 10.0kN/m³,操作方式为动水闭门、静水启门。

对此,首先依据规范采用结构力学的容许应力法进行初步计算,结合设计经验完成闸门门体结构形式选择、构件计算与布置、材料的选用等,主要构件选材及尺寸规格见表 1。

表 1 平面钢闸门主要构件初选几何尺寸汇总表

构件名称	截面尺寸(单位: mm)			材料
	上翼缘	腹板	下翼缘	
面板		14 (厚度)		Q345C
上主梁 (T 型)	—— ^①	16×1560 ^②	25×300 ^③	Q345C
中主梁 (工型)	10×200	16×1550	25×300	Q345C
下主梁 (工型)	10×200	16×1550	25×300	Q345C
底主梁 (箱型)	10×200 (单个)	16×1550 (单个)	25×700	Q345C
边梁 (单腹式)	——	18×1560	25×580	Q345C
水平次梁 (I25b)	13×118	10×224	13×118	Q235B

随后基于 CATIA 软件平台进行钢闸门三维参数化模型的建立。建模时用 mm 为单位(后期分析统一用 mm-kg-s 单位制),采用笛卡尔右手整体坐标系,取 X 向为闸门跨度方向, Y 向为水流方向, Z 向为闸门高度方向。由于平面钢闸门知识工程模版数据库样本有限,因此对此项目只能在一级模版的基础上逐步的实施搭建,形成的参数化模型见图 7(a)所示。最后,需实现闸门几何模型转化为有限元模型。通过 Hypermesh 软件对闸门几何模型进行关键的三步处理,即:整合拓扑关系、中面的提取及网格的划分,形成由三角形及四边形构成的较为精细的 169082 个 SHELL181 单元,且均通过网格质量检查,离散后的有限元网格模型见图 7(b)所示。

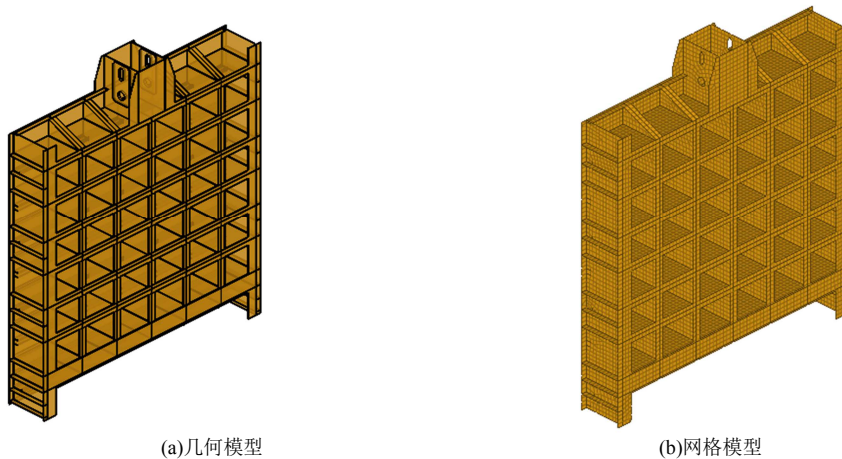


图 7 平面钢闸门三维参数化模型与有限元模型

对完全关闭工况的钢闸门主体结构有限元模型在设计水位下进行静力分析。计算荷载主要考虑作用于闸门上的静水压力及闸门自重,其中设计水头为 25m,重力加速度取为 10.0m/s²。门体在完全关闭挡水时,其门叶底缘受底坎 Z 向的位移约束,边梁滑块部位受 Y 向支撑约束,同时为保证不发生侧向位移,闸门对称部分施加 X 向位移约束。为简化计算过程,忽略材料性能间差异,取钢材的弹性模量均为 2.06×10⁵MPa,泊松比均为 0.25,密度为 7850kg/m³。

3.2 有限元结果与分析

经有限元计算分析,闸门主体结构在关闭挡水工况下,闸门整体的应力分布及变形情况见图 8,面板、主梁、水平次梁的静力特性其结果列于表 2 中。

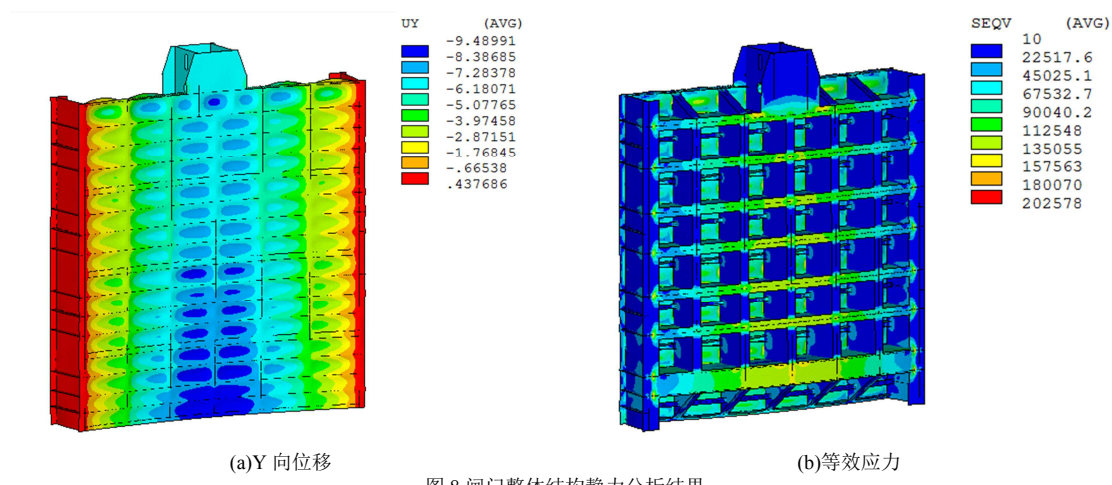


图 8 闸门整体结构静力分析结果

表 2 闸门主要构件的静力计算结果汇总表

构件类型 指标类型	面板	主梁				次梁			
		上	中	下	底	上	中	下	底
Y 向最大位移 (mm)	9.5	6.5	6.9	7.6	8.3	6.5	6.8	7.5	8.7
最大等效应力(MPa)	172.8	120.2	123.5	135.1	142.5	72.9	78.5	88.2	46.6

依据规范对主要构件进行强度、刚度的校核。在对闸门进行强度验算时，应首先确定材料的允许应力，其值与钢板的厚度有直接关系。另外考虑闸门的重要程度及运行条件，在构件允许应力计算时，一般乘以 [0.9,0.95] 调整系数，结合该项目具体情况，取值为 0.9。面板本身在局部弯曲的同时还随梁系受整体弯曲的作用，因此还应当乘以弹塑性调整系数。

采用第四强度理论对钢闸门的强度进行验算，只有 Mises 等效应力必须小于构件的允许应力才能满足强度的要求。由表 2 得：在闸门主要的受力构件中面板的应力值最大，为 172.8MPa 小于允许值 270MPa；主、次梁应力变化规律较为一致，最大应力均出现在梁的跨中部位，且从上部到底部有增大趋势，峰值为 142.5MPa 小于 220MPa。由于支撑约束的施加，使其支撑部位出现了局部的应力集中现象，且其高应力尚未超过材料允许值。综上，整个闸门结构的应力未超过构件的允许应力，故闸门满足强度的要求。

依据规范规定，对于潜孔式闸门，其主梁的最大挠度与计算跨度的比值不应超过 1/750，次梁不应超过 1/250。由表 2 得：闸门结构整体的变形沿中心对称，发生最大位移的构件为面板，其峰值位于闸门底缘中心部位，为 9.5mm；主、次梁随着作用水头的增大，其变形也逐渐增大，但均未超过其允许值 12.8mm，因此闸门结构满足刚度的要求。

3.3 结构优化

从以上的分析中，可知该闸门的初步设计已经符合相关规范的要求，且具有较大的安全富裕度。为了达到运行安全、经济最优的设计目标，可通过修改属性参数及尺寸参数来调整闸门整体梁系布局及某些构件的尺寸，从而实现对结构的整体优化。参数化的几何及建模方式结合参数化命令流的分析模式，使得调整再分析工作操作简单方便。经过几次的调整分析完善，得到优化后的闸门整体的应力分布及变形情况如下图所示 9 所示，特别地，为与图 8(b)形成对比，将应力云图色带度量范围统一化。

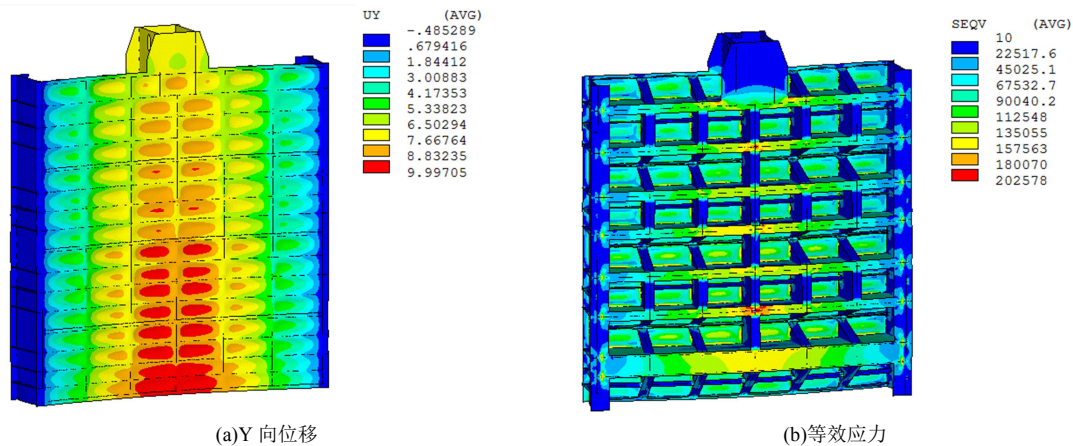


图9 优化后的闸门整体模型静力分析结果

相比于优化前的闸门结构,优化后的模型从静力分析结果来看:应力分布、变形规律较一致,其峰值应力明显增大,最大位移也略有增长,但都在构件允许的范围内,因此闸门的强度、刚度仍然满足规范的要求;从材料的利用程度来看:优化后闸门质量降低 270kg,在保证安全的前提下,利用率更高,对于降低启吊容量,节省投资十分有益。利用优化后的三维几何模型,按照闸门的使用要求,完成次要零部件的装配工作之后,通过 CATIA 软件自带的工程制图模块,完成各类图纸的出图工作,至此完成设计任务。

4 结论

针对钢闸门传统设计工作中存在的理论不够完善、设计工作任务量大、与工程数字化建设脱节等问题,提出了一套适用于钢闸门设计的通用、灵活、完整的结构体系,并对其关键的 CAD/CAE 应用技术进行了较为详细的阐述。以某大型平面钢闸门数字化设计为例,依托已有的模版成果,可快速实现三维参数化模型的建立与工程分析的功能,在此基础上,通过结构的优化,实现了其结构的安全性与经济性的统一,并取得了良好经济效益。该工作对于提升钢闸门的设计水平,促进水利行业数字化、智能化发展意义重大。

参考文献

- [1] 赵春龙,王正中,王明疆,等.深孔平面钢闸门挡水布置形式的受力特性比较[J].水力发电学报,2018,37(1):11-20.
- [2] 王正中,张雪才,刘计良.大型水工钢闸门的研究进展及发展趋势[J].水力发电学报,2017, 36(10):1-18.
- [3] SL 74-2013,水利水电工程钢闸门设计规范[S].北京:中国水利水电出版社,2013.
- [4] 方致远,向衍.弧形钢闸门三维有限元优化分析[J].水电能源科学,2017(7):182-185.
- [5] 张雪才,王正中,李宝辉,等.弧形闸门闸坝一体化静动力分析及安全评价[J].长江科学院院报,2017,34(7):116-120.
- [6] 魏群,魏鲁双,孙凯.BIM 技术在平板钢闸门三维设计软件研发中的应用[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2013,34(3):5-8.
- [7] 王蒂,李月伟,胡一亮.基于 CATIA 参数化钢闸门模型的工程分析与优化[J].人民长江,2016,47(1):56-58.
- [8] 王可,陈智海,王蒂,等.基于 CATIA 的钢闸门参数化建模技术研究[J].人民长江,2016,47(2):32-35.

共享数据的水工金属结构参数化设计

郑曦，周浩，魏珉

(上海勘测设计研究院有限公司，200434)

摘要：水利水电金属结构设计中既有小而精的机械部件设计、又有大而坚固的结构件设计，是介于标准和非标准之间的设计工作。本文作者在水工金属结构设计实践中引入 BIM 技术、基于数据库的数据共享技术以及参数化技术。依靠 SolidWorks 的二次开发产生了一套较为高效的参数化设计软件程序，使用 MySQL 数据库记录设计过程的参数并执行存储和读取实现多人协同共享设计数据。

关键词：数据共享；参数化；金属结构；BIM

1 引言

在水工金属结构的设计过程中，在得到输入参数诸如孔口尺寸（宽×高）上下游水位，底槛高程后，设计者通过规范手册已经经验初选结构尺寸，并进行应力应变验算，最终在图纸上反应各部分的结构尺寸。这个过程中结果的优劣依赖于对于规范手册熟悉理解程度、工程经验的多寡、绘图技能的高低等多方面因素。而水工金属结构设计中存在很多仅仅是孔口尺寸不同，板材厚度材质不同的相似程度极高的设计对象。提高历史数据的使用效率，提高标准化设计程度对于这一类设计工作具有较高的经济价值。研究表明基于共享数据的水工金属结构参数化设计具有较高的研究和开发价值^{[1][2]}。

2 软件流程及主要内容

水工金属结构参数化设计系统建立在传统金属结构设计过程的基础之上，包括闸门的选型、启闭设备的选型、确定主要结构的尺寸、零部件的校核计算，同时将三维模型及二维工程图加入其中，实现参数驱动三维模型、三维模型转化二维工程图的功能，最后将本次设计过程存储至数据库中，并能够按需要调取计算过程（图 1-1）。

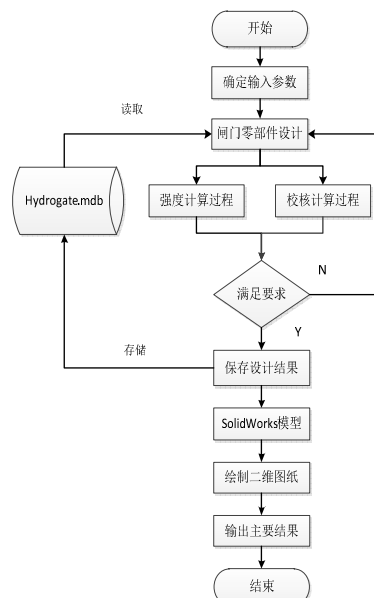


图 1-1 水工金属结构参数化设计流程

2.1 软件功能定义

确定水工金属结构参数化设计软件的功能，即进行软件的系统的目标、范围与功能说明。本系统主
 作者简介：郑曦，男，工程师，硕士学历，研究方向：BIM 项目管理、BIM 软件开发，金属结构。

要目的是实现水工金属结构中平面钢闸门孔口尺寸在 $2.0\text{m} \times 2.0\text{m}$ 至 $20.0\text{m} \times 18.0\text{m}$ 之间的常规平面闸门门叶结构、水封、支撑部件等的参数化设计，完成自动建模，自动转化成为工程图的工作，提高闸门的设计效率和设计准确率，增强企业的产品设计开发能力，有效降低产品成本。

2.2 软件开发阶段

总体设计确定软件的总体结构，子系统和划分模块工作，同时确定下各模块之间的接口数据传输和读写操作。水工金属结构参数化设计软件，主要由三个模块组成，即①零部件模块、②结构计算校核模块、③工程量统计模块组成，另外，所有的操作数据存储由 MySQL 服务器上的 hydrogata.mdb 数据库承担，程序需要加载 MySQL.Data.DLL 以及 MySQL.Web.DLL 文件。

(1) 零部件模块。该模块主要功能是实现零部件参数化的交互读写功能，使得从数据库或者从设计人员处得到的参数实时的反应到模型结果中，同时，该部分数据需传递给计算模块进行设计计算。

(2) 计算校核模块。该模块的主要功能是计算闸门的主要参数如主梁截面应力应变、支撑装置接触荷载，面板区格折算应力等参数计算校验工作。

(3) 工程量统计。该模块的主要功能为参数化建模计算完成的设计成果向施工概算专业提交工程量表格统计工作。该模块的提取对象为参数化设计的钢闸门，若进行 BIM 平台软件一定的定向开发，为设计提供的工程 5d (3D(实体)+1D(进度)+1D(造价)) 的分布式管理提供技术接口^[3]。

(4) 数据存储。在以上 3 个模块的运行过程中，产生的过程数据和结果数据经过处理后，分别存储于位于服务器数据库上的数据表格中^[4]。

3 参数分析

在选取了合适的基准之后如何选择和设定参数便是重要的工作，要实现参数化目的的零部件都可能包含至少 1 个或以上的可被选为驱动参数的关键尺寸。由于参数之间存在结构尺寸的空间联，所以确定合适的拓扑关系网络就十分重要，一套好的建模参数拓扑关系可以使得模型的驱动稳定高效 (图 2-1)。经过不断的归纳整理和尝试后，总结一下 4 种参数分类，在实际建模过程中可以借鉴使用^[5]。

3.1 关键尺寸参数

在水工金属结构设计建模过程中，一些起到决定性作用的尺寸，其他尺寸与这些尺寸有很强烈的相关性，且这些尺寸基本构建了模型的基础框架和结构特征。譬如：①闸门结构的孔口尺寸 $B \times H$ (宽 $\times$ 高)；②各类支撑轮的支撑轮直径 D (轮径)；③充水阀的管径，吊轴直径等。

3.2 接口尺寸参数

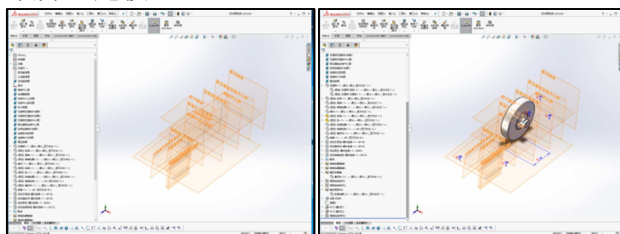
部分尺寸在不同的部件之间或者与其他专业之间存在着联系，当其中一项改变另外一项也会跟着变化，例如：①悬臂轮的支撑轴支撑间距与采用悬臂轮作为支撑方式的升卧闸门边梁与边纵梁的间距；②充水阀结构中阀座的安装位置与导向套的安装位置与相适应的门叶结构两主梁间距。

3.3 派生关系参数

强关联性的尺寸往往指的是多个参数之间可以通过数学运算或者是反复使用来得到，这一类参数适合将其中的关键几个参数提取出来作为驱动参数，例如：主梁总量高与面板厚度和后翼缘厚度及主梁腹板高度之间的关系，通过其中任意三个可以计算得到另外一个，这样我们就简化了一个参数。较为简单的一个方案便是，简化后的参数应该被直接调用的多，运算得到的少。

3.4 唯一使用参数

某些参数在建模过程中只会唯一使用，但是与模型的结构尺寸存在较大的关系，随着整体结构变化而变化，往往在系列化之后没有被改变的必然需要，但是为保证模型的参数多样性而保留。在水工金属结构中存在大量钢板裁切结构，板厚主要与水头相关，并不与其他参数发生联系，可以划归这一类参数，在有需要进行改变时进行调用修改并重建模。



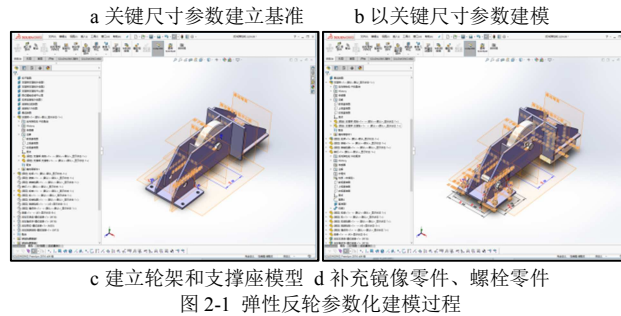


图 2-1 弹性反轮参数化建模过程

4 数据库创立

在工程设计过程中有两个关键的数据管理需求：①工程数据的重用②数据的唯一性管理。为实现以上两点要求引入 MySQL 数据库管理系统到系统开发中，并对于设计过程中产生的实时数据进行录入，同时，分析已完成工程项目的数据进行系列化补全后存储。

4.1 历史数据分析导入

通过收集整理工程图纸集将收集到的图纸进行基础数据输入整理进行了类型分类生成如下数据库表格：（1）工程汇总数据表格：主要汇总水利水电工程金属结构专业图纸基础信息；（2）部件参数化系列表：将图纸中按照门叶部件图分类整理，将同类型的部件进行参数整理，并汇总至部件参数化系列表中。

4.2 工程设计积累

本次研究构架的数据库为基于 web 访问的远程数据库，可以在客户进行设计计算时实时调用历史数据，并可以将计算结果存储至共享数据库中。

4.3 系列数据补全

历史数据库进行了整理和输入后，经整理结果如下表一实际数据所示，通过对比法和插值法将数据表内容补全成为连续的系列化设计数据库表格一数据库录入（表 3-1）。

表 3-1 数据库数据补全前后数据量对比

序号	项目	实际数据（行）	录入数据（行）
1	升卧门门叶结构	22	75
2	筒支轮支撑门叶结构	7	45
3	柱塞式充水阀	5	12
4	铰式弹性反轮	2	7

5 计算及建模的实现

5.1 SolidWorks API 技术的应用

API（Application Programming Interface）应用程序接口是用来让一款软件和其他软件进行数据交互和通信的通道。由于 SolidWorks 是通用的软件系统，难以满足特定企业的特殊要求，因此很有必要根据企业的设计和业务需求对 SolidWorks 进行针对性的、个性化的二次开发，扩展系统本省功能。

通过二次开发可以实现：①满足企业个性化的需求；②减少重复性设计工作，让代码来完成机械重复性的工作；③让工程师可以集中精力去做创造性的工作；④有效减少手工干预并减少错误；⑤提高设计的自动化、智能化程度；⑥提高企业对市场需求的快速响应能力，并有效降低设计成本和公司运营成本。

在实现过程中主要通过 SolidWorks API 接口中的尺寸驱动接口（主要代码如下）和配置系列设计表驱动来实现交互操作：

关键代码：

```
Dimension swDimension = null; //实例化一项尺寸对象
```

```
swDimension = (Dimension)swModel.Parameter("WPlate@草图 1@平顶滑块"); //获取布局草图 1 中的 WPlate 尺寸
```

```
swDimension.SystemValue = (dbSliderTotalB2 + 2 * dbPlate_d) / 1000; //对该尺寸重新赋值
```

```
swModel.EditRebuild30(); //重建模型并显示
```

5.2 MySQL 数据库的访问与存储

SolidWorks 软件本身自带一定的模型数据存储功能，但是这些数据以规定格式存储于系列化零件设计

表中,无法单独被提取使用于计算和存储访问,且这些数据需要与不同配置类型的模型统一存储。为了使数据独立于设计单独存储,在研究开发过程中引入 MySQL 关系型数据库管理系统,下图为部分数据库表格视图关系(图 4-1)。

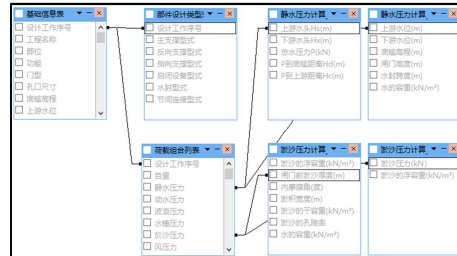


图 4-1 数据库表格视图关系

6 结语

参数化设计是将设计要求、设计原则、设计方法和设计结果用灵活可变的参数来表示,以便在人与计算机交互的过程中根据实际情况、历史工程数据等随时加以更改和驱动。参数化设计技术在机械设计行业已经成为最热门的应用技术之一,用于实现和适应机械产品设计过程复杂性、多样性、灵活性要求并最终实现自动化的必然途径。

参考文献

- [1] 王天亮.基于共享数据库的数据共享技术[J]. 计算机工程与设计.2007.4:1923-1926.
- [2] 彭卫平.水工金属结构 CAD 系统图形库的设计与建立[J].水利电力机械.1994.2:36-40.
- [3] 张建平.基于 4D-BIM 的施工资源动态管理与成本实时监控[J]. 施工技术.2011.2:37-40.
- [4] 于洋.基于 SolidWorks 二次开发的智能装配技术研究[J]. 机械设计与制造.2011.03:60-62.
- [5] 章双全.基于 SolidWorks 二次开发的风机塔架参数化设计[J]. 信息技术.2015,44 (2) :143-145.

BIM 技术在水工金属结构设计中的应用与展望

王存慧 张发茂 甘志军

(中水珠江规划勘测设计有限公司, 广东广州 510610)

摘要: 本文重点介绍了水工金属结构专业采用多款应用软件相配合的 BIM 解决方案, 根据公司水工金属结构专业的 BIM 技术实际情况, 总结归纳出 BIM 技术在水工金属结构中的应用亮点, 展望了 BIM 技术在金属结构的应用前景, 对企业 BIM 的推广和从事水工金结专业的同行具有借鉴意义。

关键词: 金属结构; 参数化; BIM

1 引言

BIM, 英文全称是 Building Information Modeling, BIM 技术起源于建筑, 但并不局限于建筑, 随着 BIM 技术在全球范围内得以推广应用, 在我国越来越多的基础设施类工程也开始逐渐应用, 包括公路、桥梁、机场、摩天大楼、工业厂房和电厂等传统行业, 水利行业也是紧跟 BIM 步伐。在水利行业众多设计院中, 金属结构专业更多的属于设备的设计, 倾向于机械设计的范畴, 金结设计专业下游对口设备制造厂, 鉴于国内外多数机械制造行业采用 Solidworks 作为图形平台, 我公司在 BIM 实施初期也明确了采用 SOLIDWORKS 作为金结专业 BIM 技术应用人主要设计软件, 并结合 Bentley 软件平台中的 ABD 来配合上游土建专业, 进而推动整个公司的 BIM 技术水平。

2 BIM 技术在水工金属结构应用的意义

准确直观的三维金结模型真实的反映了产品的特征和属性, 让设计者和业主更好的理解产品功能。基于 BIM 技术的三维协同工作能够保证各专业信息同源, 实现各专业能够及时进行信息交流和共享, 确保各专业信息对称。可视化的校审工作, 通过碰撞检查和模型校验, 很容易发现设计的错漏碰缺。工程量的统计由软件自动完成, 可以大幅度减少校审工作量, 大大提高校审效率。动态模拟设备制造安装施工过程, 更好的指导制造和安装, 对于大型空间焊接件如弧门斜支臂和桁架结构等在空间拼装的结构, 用三维模型来指导制造和安装, 有了模型数据的支持, 能最大限度避免设计交底不清楚造成的制造和安装误差。以上各点都有效提升设计、制造、安装各阶段的效率、提高施工质量、降低工程成本。

3 公司 BIM 技术在金属结构专业的应用点

1、solidworks 全参数化驱动。参数化驱动是 solidworks 建模最大的特点, 此功能相比无参数化驱动的三维软件更便于零件系列化和产品的变型设计, 相比传统的设计手段, 参数化驱动是大幅度提高效率的关键所在。一款新的闸门设备往往需要自上而下的设计手段, 确定方案后还需要多次的调整, 如弧门液压缸的布置往往需要多次的调整才能得出最优的布置, 尤其对于深孔偏心铰弧形工作闸门, 由于设备增多, 布置繁琐, 闸门开启和关闭的运动过程复杂, 采用常规手段设计效率低较, 为解决以上设计难题, 通过 solidworks 参数化的布局草图, 仅数次调整几个重要的参数即可得到最佳的布置方案, 有效提高设备布置效率, 草图可以模拟闸门实际的运行状态, 确保了闸门后期的运行效果。参数化的钢岔管模型, 结合管道布置参数, 修改通用模型后快速生成新的模型, 并自动生成二维图和二维展开图, 省去了二维制图时为得到正确的二维图而做的的大量复杂计算工作。

2、solidworks 装配体、子装配体、零件互相之间及与各自工程图之间的全联动功能。此功能是基于参数化的延伸, 将零件的系列化和变型设计升级至装配体的系列化和变型设计, 对于水工钢闸门这种属于几乎是定型产品的设备设计效率几乎是质的飞跃。如下图 1 所示, 尺寸和结构相近的两套弧门装配体, 只要修改一款通用闸门模型的主要控制参数, 可得到新的模型。

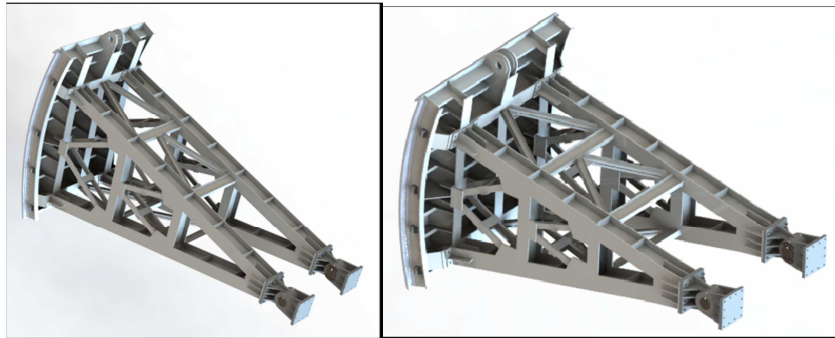


图 1

3、solidworks 常用系列标准库的建立。各种企业内部使用的标准装配体、零件、库特征、常用注释等都可以以库的形式共享，除了软件自带的 Toolbox 标准件库外，还有网络上众多的二次开发出的符合国家标准的零件库和设计工具，和过去二维标准化图库的思路一致，常用的标准件库都是为提高效率的重要手段和成果。

4、solidworks 工程图模块中丰富的视图表达方式。投影视图、局部视图、半剖视图、剪裁视图等各种视图的表达完全能满足二维工程图的出图需求。自定义出公司标准的图纸格式，其中包括能自动添加内容的标题栏，自动生成工程量的明细表。只要掌握了软件自动标注的大致的机理，在建模时将模型尺寸稍做调整，即可获得较为合理的标注，后续只要稍做修改和调整即可满足出图要求。

5、solidworks 干涉碰撞检查功能，通过碰撞检查和模型校验，可以在创建模型阶段消除设备的错、漏和零件之间及设备 and 建筑物之间的碰撞和干涉，避免了由此造成的大量返工，有明显的经济效益。此功能也可以检查止水与埋件在空间上的连续性，这对具有复杂止水结构的设备像人字门、弧门的止水布置有重要的指导意义。如图 2 所示，粗实框带表止水和埋件的干涉部分及为止水的压缩。

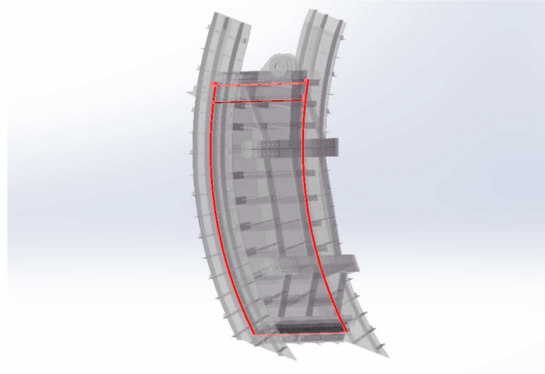


图 2

6、通过 simulation 对简化后的闸门、门架等模型进行有限元分析，做为设计的重要参考依据。金结设备多数为焊件结构，力学模型简单，模型单元几乎都是规则体，网格划分容易，采用 SW 自带的 simulatino 分析模块即可满足精度要求，图 3 为门式启闭机门架的受力分析，比手工计算的数值小 5%~10%左右，和其它专业分析软件的计算结果相吻合。

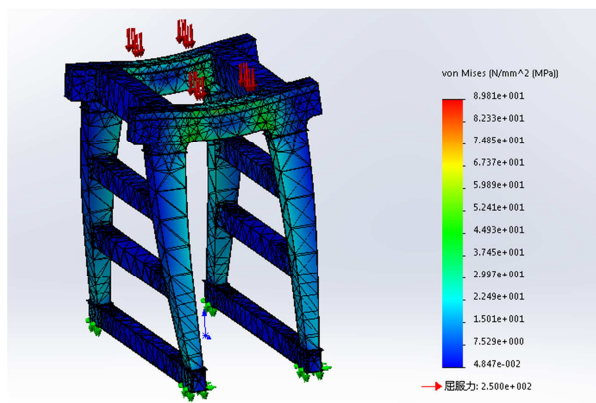


图 3

7、和土建专业的协同，协同平台采用 Bentley 的 Projectwies，模型采用 Bentley 软件的 ABD 模块，但 ABD 和 SW 互不兼容，SW 需要中间格式的二次转换后才能和其它专业进一步的协同工作，而且转换后只剩几何信息，其它如材料、颜色等信息丢失，还需要二次添加，费时费力。为此，金结专业在 ABD 中做了大量的闸门、启闭机设备库，模型的几何深度和信息深度依据公司模型技术标准，但闸门和启闭机都不属于选型产品，每个项目的闸门尺寸都不一样，再多的设备库也不能满足，都需要二次建模。考虑到闸门和启闭机确定了结构形式后仅是几何尺寸上的变化，下一步我们将基于 B 平台开发平面闸门三维辅助设计系统，启闭机辅助设计系统，有将有助于大大提高项目前期中金结设备的建模速度，基本可以满足金结专业在项目前期的建模工作，剩下的工作仅剩利用 ABD 完成项目前期所需要的金结二维图纸。

4 展望

水工金属结构设计目前还处于传统的二维手段和 BIM 技术手段相结合的阶段，各大设计院依然用先进的 BIM 迎合着传统设计手段，传统的交付方式逼迫 BIM 技术实现二维的出图功能。二维出图技术目前也是制约 BIM 技术推广的最大制约。然而基于模型定义的技术 MBD 的出现打破了这一限制，在国外已经在航空、汽车等制造业率先实现，相关标准也已面世。水工金属结构设备常秀闸门的种类并不多，结构型式简单，但外形尺寸基本是由水工建筑模型确定的，虽然在实物层面无法将水工金属设备做成像阀门一样的选型产品，但结合强大的参数化、智能化设计和 MBD 技术，我们有理由把金结设备做成在电子模型层面的选型产品，最终实现三维交付方式。让整个的建造过程实现从电子模型到实物的无损转变。

BIM 技术是继二维 CAD 技术后的二次变革，借助 BIM 技术，未来的规划、设计、施工、运维都会发生质的变化，BIM 将贯穿全生命周期。传统的 CAE、CAM 等技术都将整合到 BIM 技术当中，BIM 技术也将成为设计手段本身的一部分。BIM 技术也将从单纯的设计阶段扩展到建筑全生命周期，BIM 概念因此具备了更广泛的意义，从而为整个行业带来综合效率的大幅提升。当下我们处于一个技术迅猛发展的时代，随着 BIM 技术和电脑软硬件的发展，智能化程度的越来越高，基于 BIM 技术的设计手段会让众多的设计人员从简单的重复劳动中解放出来，机器代替人正在成为趋势，乐观的是这将倒逼我们专注于事物的本质，让设计者专注于设计本身，BIM 技术是一种技术手段和工具，虽然掌握 BIM 并不能代表设计水平的高低，但先进的 BIM 技术将将是你的得力助手，呼吁从事水工金属结构的同行们拿起这把工具，让你的大脑回归设计本质，让我们共同推动水工金属结构的发展。

参考文献

- [1] 徐国权，黄志超.基于 Solidworks 的参数化设计二次开发研究 [J].机械设计与研究，2007，23(1):69~70

水利工程平面闸门及启闭机 BIM 应用初探

沈国华¹ 卢光田¹ 王波² 陈军²

(1 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏扬州 225127; 2 江苏省水利机械制造有限公司, 江苏扬州 225000)

摘要: 以 Autodesk 公司的 Inventor 软件和达索的 SolidWorks 软件作为软件平台, 结合水利工程平面闸门及启闭机三维协同设计 workflow, 初步探索了闸门及启闭机三维协同设计应用的一些关键技术, 简要介绍了平面闸门、卷扬启闭机、螺杆启闭机 BIM 应用成果。

关键词: 三维协同设计; 参数化; 实例化; 二次开发; 模型库

1 前言

随着计算机软硬件技术及网络技术的迅速发展, 三维造型技术、仿真模拟及分析技术(包括云计算技术)得到迅猛发展, 具备了使设计目标立体化, 形象化, 信息化, 智能化的条件, BIM 作为一种新的理念和设计、制造、运维手段, 在此信息化背景下悄然兴起, 它缘起于制造业, 由于它的技术创新性和革命性, 逐渐向土木行业的各个领域渗透、扩展, 并在国内的工程设计及施工领域得以推广应用。

2 软件平台介绍

本文所涉及的闸门模型是在 Autodesk Inventor professional 2015(简称 AIP 2015, 下文同)软件内实现, 启闭机的模型在 SolidWorks 环境中完成。SolidWorks 为行业内众所周知, 限于篇幅, 不对该软件作介绍, 仅对 AIP 软件作一个简单的介绍。

2.1 AIP 概述

AIP 软件是美国 AutoDesk 公司于 1999 年底推出的三维可视化实体模拟软件, 目前已推出最新版本 AIP 2018。它包含三维建模、信息管理、协同工作和技术支持等各种特征。使用 AIP 可以创建三维模型和二维制造工程图、可以创建自适应的特征、零件和子部件, 还可以管理上千个零件和大型部件, 它的“连接到网络”工具可以使工作组人员协同工作, 方便数据共享和同事之间设计理念的沟通。AIP 在用户界面简单, 三维运算速度和着色功能卓越, 能够帮助操作者简单迅速地获得零件和装配体的真实感, 提高工作效率, 最大程度发挥操作人员的创意。

AIP 软件有三个主环境, 即零件环境、部件环境、工程图环境, 在这三个环境中分别对应零件、部件及工程图进行设计和编辑。另外, AIP 还有诸多子环境, 比如, 钣金环境, 焊接构件环境等。

2.2 AIP 的模型特征分类

AIP 中模型的特征按实现模型的某一方面特定的功能分为现状特征、属性特征两大类, 每大类细分如下:



2.3 AIP 的文件格式

2.3.1 零件文件

打开零件文件后, 即处于零件环境中。零件命令可以处理组合生成零件的草图、特征和实体。可以将单实体零件插入部件中, 并将它们约束在制造部件时其应在的位置。可以从多实体零件提取多个零件文件。

大多数零件都是从绘制草图开始的。草图是创建特征所需的特征和任意几何图元(如扫描路径或旋转轴)的截面轮廓。

作者简介: 沈国华(1970-), 男, 江苏南通人, 高级工程师, 主要从事水工金属结构和工程数字化设计。

零件模型是特征的集合，多实体零件文件中的实体可共享特征。草图约束用于控制几何关系，尺寸用于控制大小。可以调整约束或尺寸参数（控制模型的大小和形状），并可直观看到调整和修改给模型带来的影响。

2.3.2 部件文件

在 AIP 中，可以将零部件作为一个功能单元装入部件文档中。部件约束定义了这些零部件相互之间的相对位置。

当创建或打开部件文件时，用户处于部件环境中。部件命令可以处理所有子部件和部件。可以将一起发挥作用的多个零件编组为一个单元（即子部件），然后将此子部件插入到其他部件中。

可以将零件插入到部件中，也可以在部件环境中使用草图和零件命令来创建零件。在这些操作期间，部件中的其他所有零部件都是可见的。

部件浏览器是激活要编辑的零部件的便利工具。使用浏览器可以编辑草图、特征和约束，打开和关闭零部件可见性，以及执行其他操作。

2.3.3 表达视图文件

表达视图文件是多用途文件类型。使用表达视图文件，可以创建部件的分解视图并在工程图文件中使用；创建逐步显示装配顺序的动画，动画可以包含视图变化和零部件在装配过程的每一步的可见性状态。

2.3.4 工程图文件

创建模型后，可以创建工程图来表达自己的设计。在工程图中，将模型的视图放置在一个或多个工程图纸上。然后添加尺寸和其他工程图标注以记录模型。

工程图除了包含所需视图外，还包含自动明细栏和零部件引出序号。因为 AIP 保留零部件和工程图之间的链接，所以在创建零部件的过程中可以随时创建工程图。默认情况下，编辑零部件时将自动更新工程图。但是，最好在零部件设计完成后再创建工程图，因为编辑工程图细节（添加或删除尺寸或视图，或者更改注释和引出序号的位置）需要较多的人机交互时间。

3 关键技术研究

3.1 模型参数化技术研究

随着 CAD 技术的应用，二维绘图将逐渐过渡到三维设计，很多主流 CAD 软件都包含了参数化建模的功能，从而可以更完全的定義和描述設計及製造、建造信息。在设计过程中，零部件、构件的标准化、系列化、通用化是提高设计质量，缩短产品设计开发周期，减少市场反应时间的有效途径之一。模型参数概念沿袭了传统程序和函数里参数概念，将参数引进到模型中来可谓是一个创举。参数不仅使模型的精度、可控制性、操作性、重复使用率得到大幅提高，更重要的是它使模型具有衍生派生能力，赋予了模型生命力。模型的参数化技术经历了尺寸联动、参数驱动两个孕育阶段，时至今日，模型的参数化渐趋成熟，不仅包含早期的标注尺寸的联动及角度等几何参数的图元驱动，材质、属性等参数也囊括进来，模型的信息化程度空前丰富，模型材质的本构形态、颜色、模型的空间感觉等等与实际物体之间几乎没有什么差异。

BIM 很自然地引进参数化技术，但是模型的参数化工作并非一蹴而就，因为处于研发、设计阶段的产品，其各项特征都具有不确定性，需要根据经验或者客户的反馈对设计对象（产品）进行反复的论证、重新设计或者修改，从而不断的改进和完善。因此，从某种意义上讲，设计的过程就是反复修改的过程。参数化设计的目的就是按照产品的设计意图进行灵活的修改，所以易于修改性是至关重要的，这也是参数化设计的优势之一。

模型参数化是 BIM 的核心内容，参数化建模实现方法一般有三种：1、直接用系统参数与尺寸约束驱动模型；2、特征和表达式驱动模型；3、利用参数表（文件）驱动模型。

1、用系统参数与尺寸约束来驱动模型是最基本的方式，此方式一般在草图阶段将输入的尺寸约束作为特征参数保存起来，并且在此后的设计中进行可视化修改，从而达到最直接的驱动建模的目的。用系统参数驱动图形的关键在于，如何将实物中提取的参数转化到系统中，用来控制三维模型的特征参数。尺寸驱动是参数驱动的基础，尺寸约束是实现尺寸驱动的前提。建模时必须以完整的尺寸参考为出发点，不能漏注或者多注尺寸，图形完全约束后，其尺寸和位置关系能协同变化，系统将直接把尺寸约束转化为系统参数。

2、基于特征的建模技术，突出关键特征尺寸和定位尺寸，能很好地传达设计意图，并且易于调用和

编辑,也能创建特征集,并对特征进行管理。不同部件(构件)中的表达式也可以通过链接来协同工作,即一个部件中的某一表达式可以通过链接其他部件中另一表达式建立某种关系,当被引用部件中的表达式被更新时,与它链接的部件中的相应的表达式也关联更新。特征参数与表达式之间能相互依赖,互相传递数据,表达式清晰表达特征之间的逻辑关系。

3、参数表驱动模型是指用一个表文件的数据来驱动模型,这种驱动方式不仅灵活而且交换的信息量大。参数表一般都是从模型生成,操作者可以修改参数表的局部数据和全部数据来驱动模型。

通过在 AIP 平台上模型参数化方法的比较研究,有助于设计人员针对不同的设计目标选择合适的参数化方式,掌握参数化这一关键技术,设计人员才能通过零件间的参数化关联设计,使相关联零部件的设计过程变得更加简单与可靠,使设计表达更加智能化。

3.2 AIP_ilogic 技术研究

2008 年末, Autodesk 完成了对 LOGIMETRIX 公司的 ILogic 软件的收购。Autodesk 曾发布过两个试用版本,即 inventor illogic 2009, inventor illogic 2010。inventor illogic2011 版本被正式列入到 Inventor 的功能序列中。Ilogic 中 i (intelligent)“有智能、聪明的意思,而” logic “的意思是”逻辑。在设计表达过程中,模型参数,模型特征、属性等信息都具有确定的逻辑关系。例如:字串类型数据的对比判断、数值型数据、布尔型数据的是非判断,根据判断结果,可决定某数据的取值或者某些因此而需要进行的操作。

Ilogic 所用语言是简明的 VB 程序语言。在 inventor 设计表达中的某些数据操作,可能由 illogic 自动完成。举个简单的例子:用 illogic 可以实现正确地动起来机构草图!而 Inventor 自身并不具备草图动画驱动。

ilogic 与 API 最大的差异是: API 几乎能够做软件平台所有能做的事情;而 illogic 虽然是智能化、程序化的插件,却不能创建新的对象,不支持任何 AIP 的附加模块。

4 平面闸门研究

4.1 研究内容

在软件平台上进行平面闸门(如悬臂滚轮式平面焊接闸门)BIM 应用研究,探索启闭设备(如螺杆启闭机、卷扬式启闭机)的智能化设计工作流程,初步探索闸门及启闭设备总装模型与相关专业的协同设计的工作流程,进行闸门橡胶止水、轴端挡板等系列化零部建库研究等。

4.2 平面闸门参数化

参数化平面闸门模型的创建较为复杂且结构件和运转零部件建模差别较大,在着手参数化建模之前,将平面闸门分成三个部分来建模,即将之分为闸门结构、运转零部件及其附件、门槽埋件。将这些零件件建好后再进行装配。装配模型形成闸门总图(工程图),由闸门结构模型生成闸门结构图(工程图),由运转件部件和零件分别形成对应的装配图和零件图(工程图)。

4.2.1 滚轮式平面闸门

参数化模型体系建立之后,通过人机交互的方式确定参数得到实例化模型。虽然可以直接通过参数化模型来生成工程图,但是我们认为,在实际工作中用实例化模型来生成工程图比较适宜。因为我们不希望大量的模型修改和变动带到工程图中去,模型变化太多或者太大直接影响工程图中的图幅、比例,甚至影响视图布置。

本文以悬臂式滚轮支撑平面闸门的应用研究为例。下图 1 为其实例化模型,图 2 为闸门总图(工程图)样例,图 3 为闸门结构图(工程图样例)。

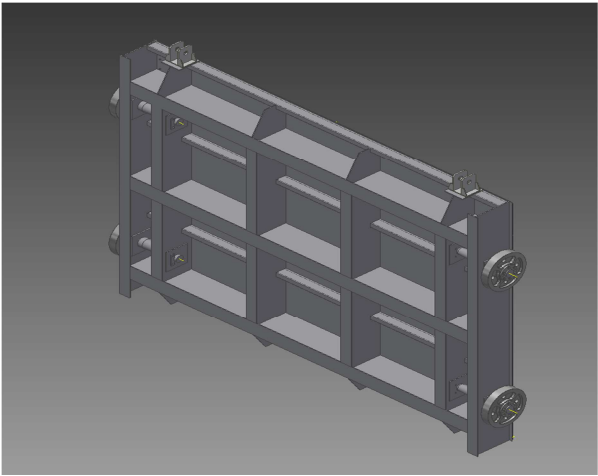


图 1：滚轮式平面闸门实例化模型

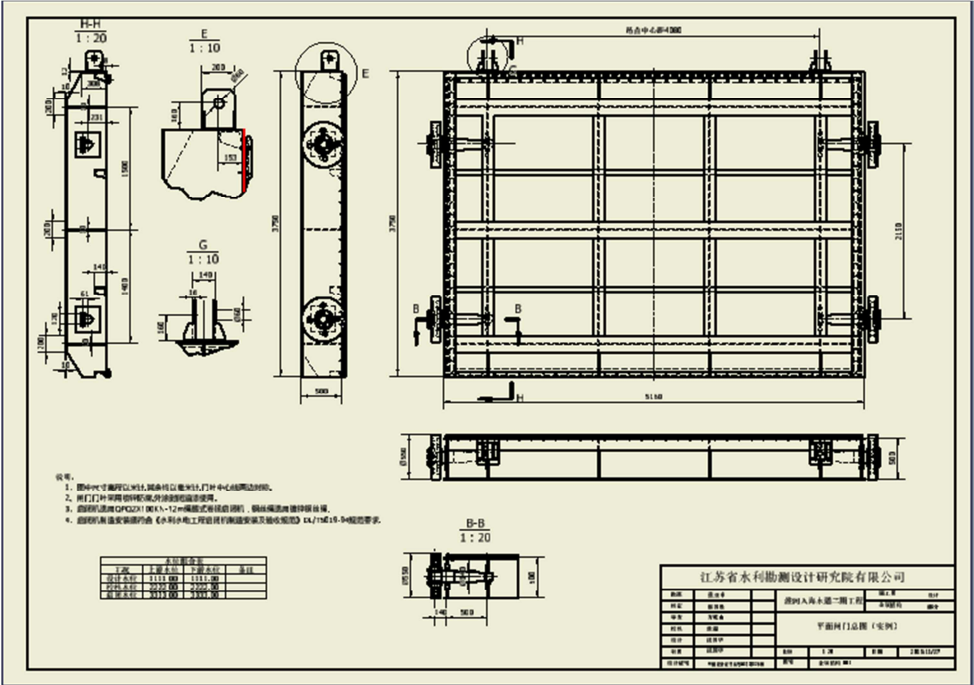


图 2：闸门总图工图样例

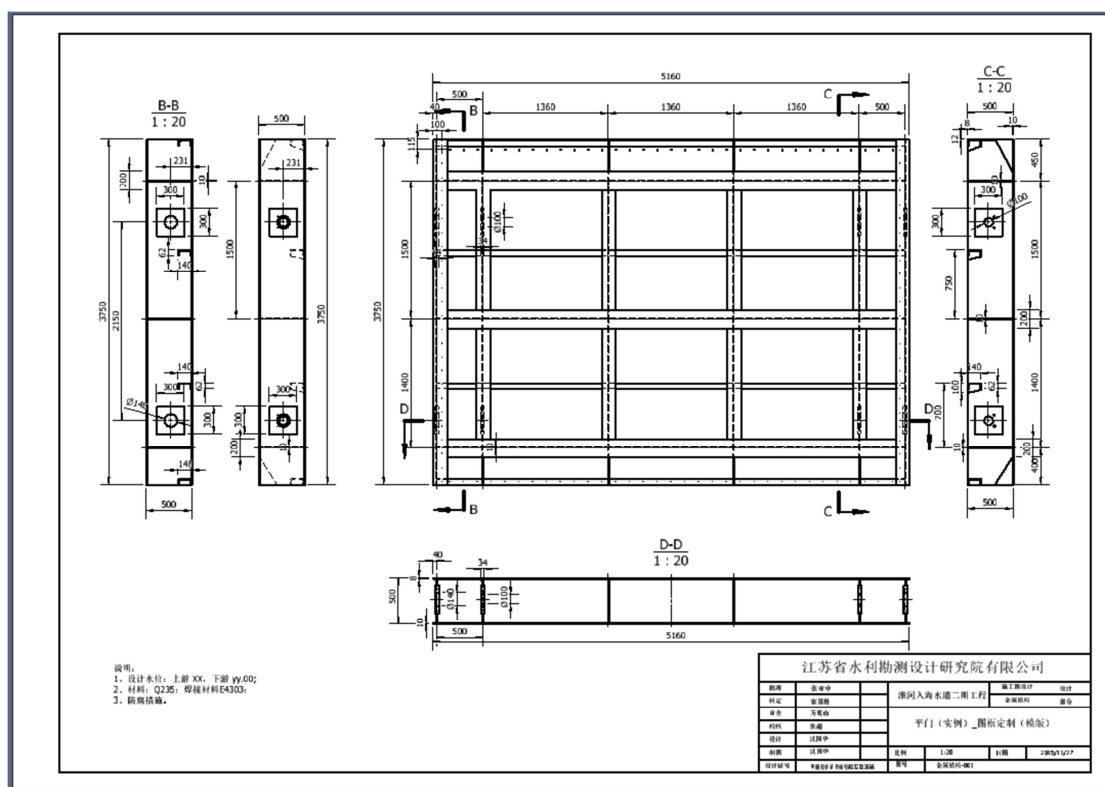


图 3： 闸门结构图样例

4.2.2 止水橡皮模型库研究

对于像止水橡皮类的非标准闸门附件,建立三维模型库,便于在集成 BIM 模型时调用。这不失为一种解决非标零件 BIM 模型的方式。模型库目录如下图 4 所示。

 H1-15	2015/5/27 9:23	Autodesk Invent...	73 KB
 H1-16	2015/5/27 9:24	Autodesk Invent...	73 KB
 H1-18	2015/5/27 9:24	Autodesk Invent...	73 KB
 H1-20	2015/5/27 9:28	Autodesk Invent...	74 KB
 P1-10系列止水	2015/5/26 15:41	Autodesk Invent...	80 KB
 P1-12系列止水	2015/5/26 15:43	Autodesk Invent...	75 KB
 P1-15系列止水	2015/5/26 15:44	Autodesk Invent...	75 KB
 P1-25系列止水	2015/5/26 15:50	Autodesk Invent...	76 KB
 P1-30系列止水	2015/5/26 15:53	Autodesk Invent...	78 KB
 P1-35系列止水	2015/5/26 15:55	Autodesk Invent...	78 KB
 P1-40系列止水	2015/5/26 15:58	Autodesk Invent...	78 KB
 P2-25方头有孔	2015/5/26 16:10	Autodesk Invent...	78 KB
 P2-30方头有孔	2015/5/26 16:12	Autodesk Invent...	80 KB
 P2-45方头有孔	2015/5/26 16:13	Autodesk Invent...	80 KB
 P2-60方头有孔	2015/5/26 16:16	Autodesk Invent...	80 KB
 P3-40方头无孔	2015/5/26 16:20	Autodesk Invent...	71 KB
 P4-40型内转角无孔	2015/5/27 9:08	Autodesk Invent...	85 KB
 P5-40型外转角无孔	2015/5/27 8:49	Autodesk Invent...	84 KB
 P6-40型内转角有孔	2015/5/27 9:28	Autodesk Invent...	83 KB
 P25系列止水	2015/5/27 9:29	Autodesk Invent...	78 KB
 P30系列止水	2015/5/26 14:38	Autodesk Invent...	78 KB
 P35系列止水	2015/5/27 9:29	Autodesk Invent...	78 KB
 P40系列止水	2015/5/27 9:30	Autodesk Invent...	80 KB
 P45系列止水	2015/5/27 9:31	Autodesk Invent...	79 KB
 P50系列止水	2015/5/26 15:34	Autodesk Invent...	81 KB
 V3-35型	2015/5/27 10:29	Autodesk Invent...	80 KB
 V3-40型	2015/5/27 11:00	Autodesk Invent...	75 KB
 V4-45型	2015/5/27 10:23	Autodesk Invent...	78 KB
 V4-50型	2015/5/27 10:22	Autodesk Invent...	78 KB
 V4-60型	2015/5/27 10:19	Autodesk Invent...	81 KB

图4 闸门止水模型库目录

4.2.3 轴端挡板参数化研究

轴端挡板是水利闸门中滚轮装配的典型配件,对于这类系列化附件,根据《机械设计手册》中的数据,探索研究并建立轴端端挡板参数化模型,以便在三维协同设计过程中调用。

5、平门启闭设备研究

5.1 卷扬启闭机模型研究

用于平门的启闭机设备型式很多，我们选择了比较典型的两种型式作为研究对象，以 30kN 涡轮蜗杆式螺杆启闭机和 QPQ2*250kN 的卷扬启闭机两个规格进行参数化建模研究，并利用参数化模型进行了实例化转换，梳理出启闭设备的三维协同设计的工作流。下图 5 为卷扬启闭机的一个实例化模型。

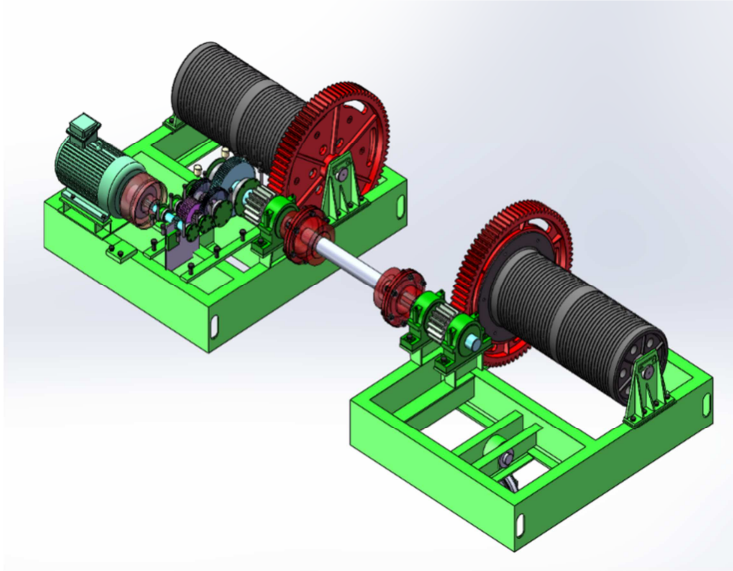


图 5：QPQ2*250kN 卷扬启闭机模型

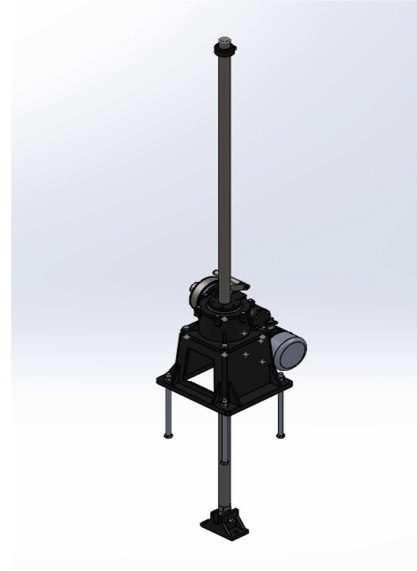


图 6：（左图）螺杆启闭机模型

5.2 螺杆启闭机模型研究

螺杆启闭机是小型闸门常用的一种启闭机设备，它是一种简单传统的启闭机设备，它由电机或者人力驱动，通过减速或省力装置传递给大螺母，大螺母驱动丝杠给给闸门提供启闭力。本文以 30kN 涡轮蜗杆传动的螺杆启闭机为研究对象。其模型如上图 6

6 结语

AIP 软件和 SW（Solidworks 的简称）平台均可以实现典型闸门及启闭设备的三维协同设计工作流。通过本研究发现，按照 BIM 的要求，还有许多工作要做，比如：

- 1) 不同专业接口界面间尚有一些问题需要进一步的研究，如闸门及启闭机安装二期混凝土的处理，启闭机供电及自动化电缆及其管道的处理。
- 2) 专业内部协同还存在需要进一步探索的问题，如卷扬式启闭机的钢丝绳缠卷处理、设备配套模型如制动器、电机、减速器还非常有限)。

参考文献

- [1] 《Inventor illogic 程序设计解析与实战》冯伟陈伯雄编著化学工业出版社。
- [2] 《Autodesk Inventor 2016 官方标准教程》毕梦飞马茂林编著中国工信出版集团。
- [3] 《水利水电钢闸门设计规范》SL74-2013 中华人民共和国水利部发布。
- [4] 《闸门与启闭机设备》刘细龙陈福荣编著中国水利水电出版社。
- [5] 《大 BIM 小 bim》（原著第二版）[美] 菲尼斯.E.杰尼根著程蓓周梦杰译

带润滑油通路的简支轮参数化设计

邵飞, 郑瓛, 邱南思

(上海勘测设计研究院有限公司, 上海, 200434)

摘要: 在水利水电设计中, 金属结构为其中重要性结构, 其结构较为复杂, 设计比较繁琐, 在繁忙的工作中, 如何提高工作效率, 保证设计的可靠性与精确性, 本文介绍带润滑油通路的简支轮参数化设计, 详细介绍参数化设计过程, 与一种简支轮自润滑工作方式。

关键词: 金属结构; 参数化设计; 简支轮

1 引言

在水利水电工程设计中, 金属结构为各种永久性的钢结构和机械设备, 其中最基本的应用最广泛的为压力钢管、启闭机、拦污栅、水工钢闸门等。其中水工钢闸门包含平面闸门、弧形闸门、叠梁闸门等。在水工金属结构闸门设计中, 常见闸门支撑类型有滑块支撑、轮式支撑, 支撑的作用一是为了传递荷载, 二是为了降低摩擦力, 而轮式支撑的目的是为了解决因为摩擦力而带来的启闭机增大问题, 滚动摩擦系数相对滑动摩擦系数较小, 因此轮式支撑在水电站设计中较为多见。本文通过三维模型建模并结合参数化设计对简支轮作出参数化设计介绍。

在闸门设计过程中, 门型较多, 而且工作重复性较高, 在大量模型库建立后过程中, 我们不断探索着更为便捷的建模方式, 在自下向上建模, 到自顶向下过程, 草图建模等多种方式尝试过程中, 我们发现利用参数化驱动的方式能够更为方便我们模型的建立与修改。这样为我们节省了大量的建模工作时间, 同时三维模型的准确性, 进一步的保证设计的质量要求。

在轮子设计过程中, 轮毂与轴的摩擦主要来源于轴承, 常用于轴承一般有滑动轴承, 关节轴承、调心滚子轴承。其中滑动轴承与关节轴承通过自身润滑材料进行润滑, 其缺点是不耐磨, 在高频率运行下磨损较为严重, 更换周期较短, 而调心滚子轴承, 通过润滑硅脂或润滑油润滑, 不易磨损, 本文针对调心轴承介绍一种新型的润滑设计, 使得轮式支撑维护较为方便。

2 参数化设计过程

参数化设计, 是通过变量参数的修改我们得到一个新的模型的过程, 在参数化设计过程中, 我们首先需要确定的是模型的参变量, 其次需要将参变量联立关系, 最后通过修改参变量的数值得到新的模型过程。

在简支轮设计过程中, 我们需要对现有某个模型进行参数设置与参数驱动联立, 并将设置好参数的模型作为原始模型, 在原始模型上才能进行修改与更新, 这时便需要我们不断的积累不同的模型来丰富我们的模型库, 简支轮中, 我们对常用的直径大小进行了归例, 将常用的轮径大小通过配置的形式进行调用, 每次在设计前可以选择一个最为接近的模型进行修改, 这样能减少参数的输入更为方便建立新模型。

在简支轮参数化设计中, 包含总参数变量为 49 个数值, 如果对所有变量不进行分类管理, 那非常不利于设计人员下次修改与更新模型, 相反如果定义分类好每个参变量, 那么就非常容易更改我们的模型, 如下图所示, 我们将整体装配的尺寸与每个零件的尺寸进行分类, 这样在新参数输入时便很清楚自己修改的参数是哪一项。在简支轮中将变量尺寸分别归类于装配体、轮毂、内轴承盖、外轴承盖、圆环挡圈、阶梯轴、轴端挡板。通过二次开发, 我们可以将不同变量分类更为形象直观的罗列出来, 具体变量参数如下:

作者简介: 邵飞, 男, 工程师, 硕士学历, 研究方向: 金属结构、参数化设计及 BIM 应用。

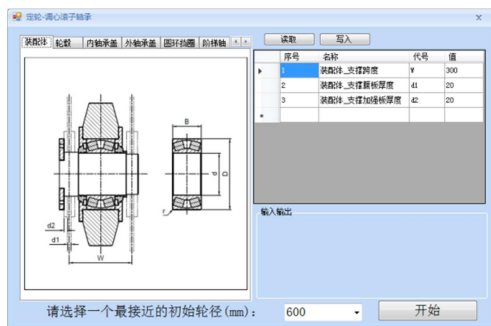


图 1: 装配尺寸参数

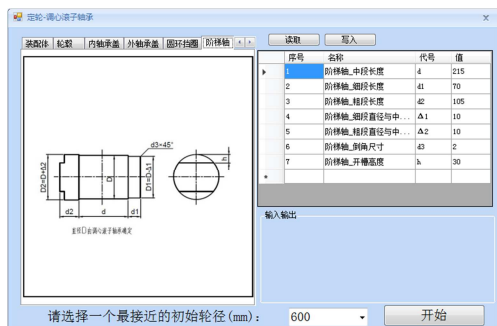


图 2: 零件尺寸参数

装配体包含参数为：支撑跨度，支撑腹板厚度，与支撑加强板的厚度，这几个参数反应了简支轮与闸门的连接关系。

轮毂包含参数为：轮子直径，变截面直径，宽度，踏面宽度，以及圆角倒角的尺寸参数。

内轴承盖包含参数为：内侧宽度，内圈直径，外圈直径，外侧宽度，及密封槽相关尺寸。

外轴承盖包含参数为：内侧宽度，内圈直径，外圈直径，外侧宽度，及密封槽相关尺寸。

圆环挡圈包含参数为：挡圈厚度。

阶梯轴包含参数为：中段长度，粗段长度，细段长度，细段直径与中段直径差，粗段直径与细段直径差，开槽高度，倒角尺寸。

轴端挡板包含参数为：外圈直径，长度，斜边角度，开孔数目，孔阵列角度，开孔直径等。

在各个相互独立的参数之间，我们通过方程式来将每个数据来进行联立，建立数据与模型之间的作用关系，这样在改变自变量参数的同时，模型也会因此发生变化，最终生成新的模型。

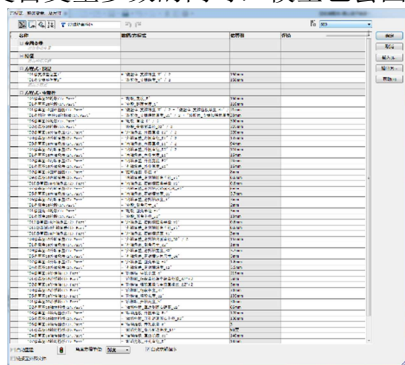


图 3: 尺寸关系

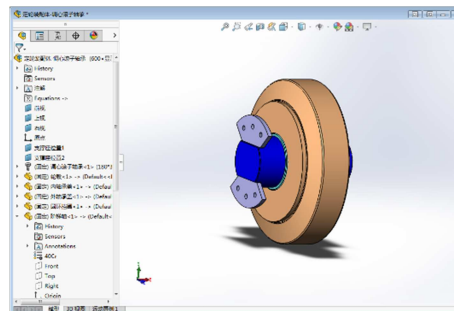


图 4: 简支轮模型

在以上详细介绍参数化过程中，最主要的环节便是理清各个参数的相对关系分类，这一步的完善将会为我们参数化开发带来事半功倍的效果。

3 带润滑油通路的简支轮介绍

水利水电工程中, 简支轮作为闸门部件, 在水头较高总水压力较大的情况下, 过去多采用自润滑关节轴承的简支轮作为支撑装置; 但是随着行业的发展, 技术条件的更新, 在很多情况下为了进一步减小摩擦力, 降低启闭机设备尺寸, 采用调心滚子轴承的简支轮越来越多的被要求使用。在实际运行过程中发现, 调心滚子轴承虽然极大的减小了摩擦力但是其运行时多采用油 (或脂) 润滑, 由于应用水头往往较高, 相应的密封结构使得加注或更换润滑油较为困难, 常需拆解后进行加注或更换润滑油。

本文介绍一种带润滑油通路的简支轮,包括轮轴、轮毂和轴承,轮轴紧配于轴承内圈,轮毂紧配于轴承外圈,轴承两侧设置轴承盖,轴承盖分别与轮毂、轮轴密封配合;轴承一侧端面与相邻的轴承盖形成第一油腔,轴承另一侧端面与相邻的轴承盖形成第二油腔,第一油腔和第二油腔分别连通轴承外圈和轴承内圈之间的安装腔;所述轮轴一端轴向设置有第一输油孔,轮轴另一端轴向设置有第二输油孔;第一输油孔末端通过径向设置在轮轴上的第一透油孔连通同侧的第一油腔,第二输油孔末端通过径向设置在轮轴上的第二透油孔连通同侧的第二油腔;第一输油孔和第二输油孔轴向不连通。

润滑油路采用单向通路形式, 润滑油通过轴向的输油孔和径向的透油孔实现在轴承一侧灌注另一侧排

出；新润滑油通过轴承一侧将原有油体以及使用过程中磨损产生的细小金属磨屑排出，实现了新旧润滑油的更换，且避免了对筒支轮的拆解。润滑油路工作如下：

本筒支轮包括轮轴 3、轮毂 1 和轴承 7，轮轴 3 穿设固定在轴承内圈 7a 中，轮毂 1 套设固定在轴承外圈 7b 外周；本实施例中轴承 7 类型为调心滚子轴承 7，以降低载重时的摩擦力和适应转子偏挠曲的影响。

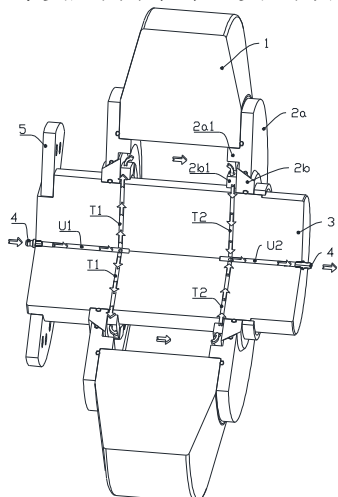


图 5. 一种带润滑油通路的筒支轮

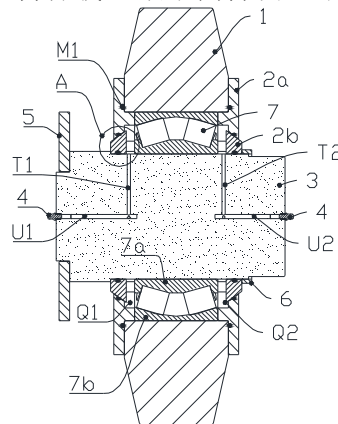


图 6. 一种带润滑油通路的筒支轮

在轴承 7 两侧设置轴承盖 2，轴承盖 2 包括同心配合的轴承外盖 2a 和轴承内盖 2b，轴承内盖 2b 套设固定在轮轴 3 上，轴承内盖 2b 和轮轴 3 之间设置密封圈 M3，轴承外盖 2a 间隙配合在轴承内盖 2b 外侧且两者的配合面为球面，轴承外盖 2a 为内凹球面，轴承内盖 2b 为外凸球面，两者的配合面之间设置密封圈 M2 保证密封；上述球面配合方式使得安装过程中，对于大跨度支撑状态下存在小角度偏移情况，不会出现内外轴承盖 2a 干涉状况，提高了筒支轮设计的安全性和可靠性。其中，球面的球心与调心滚子轴承 7 回转中心一致，以实现同心转动。其中，轴承外盖 2a 外沿延伸至轮毂 1 两侧，并与轮毂 1 之间设置密封圈 M1 实现密封配合。

轴承外盖 2a 内侧设置有外环形凸台 2a1，轴承内盖 2b 内侧设置内环形凸台 2b1，外环形凸台 2a1 用于限位抵触在轴承外圈 7b 两侧，内环形凸台 2b1 用于限位抵触在轴承内圈 7a 两侧；轴承外盖 2a、轴承内盖 2b 和轴承 7 两侧面之间分别形成了第一油腔 Q1 和第二油腔 Q2，第一油腔 Q1 和第二油腔 Q2 分别连通轴承外圈 7b 和轴承内圈 7a 之间安装滚子的安装腔。

轮轴 3 一端轴向设置有第一输油孔 U1，轮轴 3 另一端轴向设置有第二输油孔 U2；第一输油孔 U1 和第二输油孔 U2 末端并不连通。第一输油孔 U1 末端通过径向设置在轮轴 3 上的第一透油孔 T1 连通同侧的第一油腔 Q1，第二输油孔 U2 末端通过径向设置在轮轴 3 上的第二透油孔 T2 连通同侧的第二油腔 Q2。由于第一油腔 Q1 和第一透油孔 T1 之间，第二油腔 Q2 和第二透油孔 T2 之间都有内环形凸台 2b1 阻隔，可以在内环形凸台 2b1 上开设若干透油槽 2b2 解决，透油槽 2b2 优选周向均布在内环形凸台 2b1 上。同时，为了增加润滑油的扩散速度，第一透油孔 T1 和第二透油孔 T2 径向分布的条数可以为多条。

当正常工作状态时，第一输油孔 U1 和第二输油孔 U2 在轮轴 3 端部的开口分别由油杯 4 封堵。参加图 2 和图 5，当需要更换润滑油时，拔掉两端的油杯 4，在第一输油孔 U1 通入新润滑油，新润滑油沿着图中箭头方向依次通过第一透油孔 T1、透油槽 2b2，进入到第一油腔 Q1，然后第一油腔 Q1 内的旧润滑油被挤向轴承内圈 7a 和轴承外圈 7b 之间的安装腔，并最后沿着箭头方向流向第二油腔 Q2、第二透油孔 T2，从第二输油孔 U2 的开口排出；当最终从第二输油孔 U2 排出的润滑油液较为清晰时，则表示筒支轮内新旧润滑油已更换完毕，重新塞上轮轴 3 两端的油杯 4 即可。

4 总结与展望

在参数化设计中，更新得到一个新的模型，所需要时间仅为几分钟，而在以往设计中，绘制一个新的模型需要的时间是以天为单位计算的，如此计算，参数化带来效率会得到很大的提升，在完成参数化开发后，通过友好的界面操作系统，设计人员能够非常方便进行设计。

尽管如此，软件开发与模型库参数化建立需要投入大量的精力，所以在前期的工作中，我们需要不断

的积累，不断的扩充自己的模型库。

参考文献

- [1] DS SolidWorks®公司. SolidWorks®零件与装配体教程[M]. 北京：机械工业出版社，2011.3.
- [2] 李向阳.SolidWorks 二次开发的研究[J]. 精密制造与自动化.2008.2:37-38，54.

BIM 技术在船闸项目中的运用

张立明

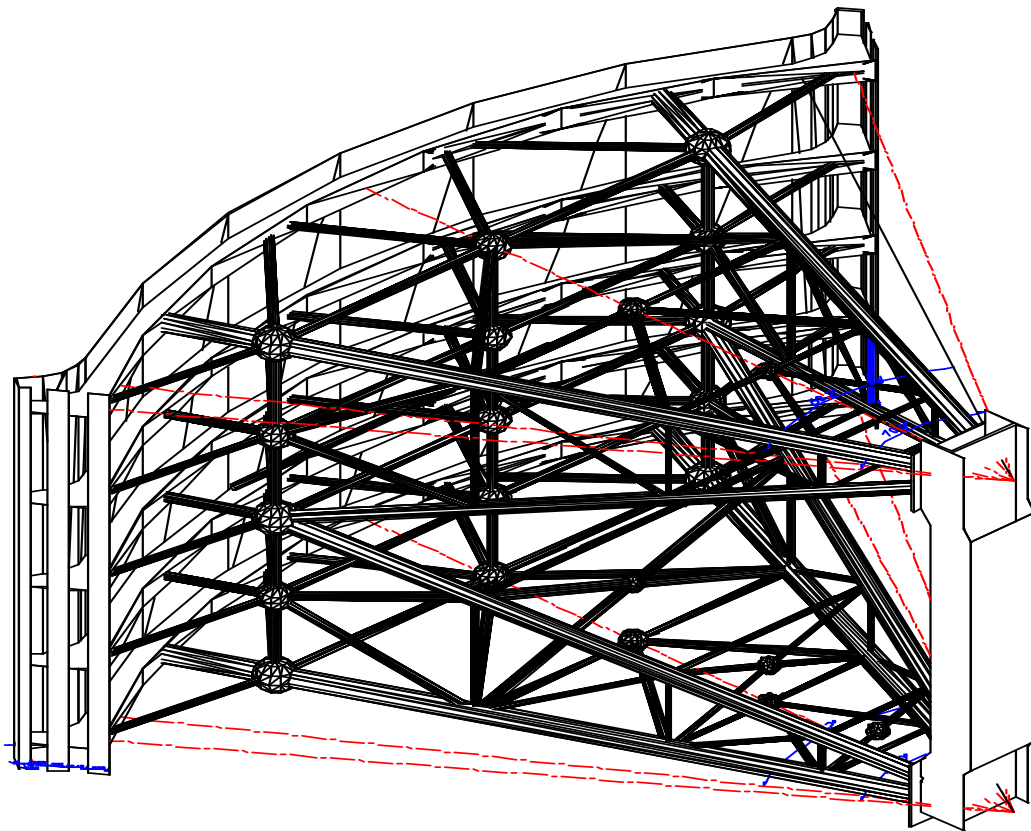
(江苏省水利机械制造有限公司 225006)

摘要：本文对球铰点弧形三角门船闸工程进行了介绍，它相对于其它的水工建筑物较为复杂，更适合使用 BIM 技术来处理相关问题。BIM 技术的优势在于通过三维数字技术模型的建立，反映建筑物所具有的真实信息，为工程设计和施工各专业相互协调、达到设计施工的一体化，从而降低工程生产成本，保障工程按时按质完成。船闸项目在设计阶段、施工阶段、运行维护、成本控制、管理等方面展开 BIM 技术的应用，取得了较好的效果。

关键词：船闸；BIM；模型；三角门；模拟；协同

1 问题的提出

船闸是由上、下闸首，闸室，上下游输水廊道，闸门、阀门及控制房构成的用于过船的水工建筑物。它的设计、施工、运维都比节制闸要繁杂许多，尤其是球铰点弧形三角门因其受力合理，结构优美深受业主青睐，但其设计、制作、安装、调试就更为复杂。下图为门叶结构：



如何将上述目标产品做到可视化、构件设计参数化，精准下料不需到施工现场修修配配，模拟安装、调试，大幅提高设计质量、降低施工成本、缩短工期，就需要一种新的技术与管理手段。

2 BIM 技术的优势及其运用

1. BIM：英文全称是Building Information Modeling，中文翻译为：建筑信息模型，是一个完备的信息模型，能够将工程项目在全生命周期中各个不同阶段的工程信息、过程和资源集成在一个模型中，方便的被工程各参与方使用。通过三维数字技术模拟建筑物所具有的真实信息，为工程设计和施工提供相互协调、

内部一致的信息模型,使该模型达到设计施工的一体化,各专业协同工作,从而降低了工程生产成本,保障工程按时按质完成。模型指在建设工程及设施全生命期内,对其物理和功能特性进行数字化表达,并依此设计、施工、运营的过程和结果的总称。[1]

从BIM设计过程的资源、行为、交付三个基本维度,给出设计企业的实施标准的具体方法和实践内容。它不是简单的将数字信息进行集成,而是一种数字信息的应用,并可以用于设计、建造、管理的数字化方法。这种方法支持建筑工程的集成管理环境,可以使建筑工程在其整个进程中显著提高效率、大量减少风险。

2.船闸球角点弧型三角门:是由闸门羊角门叶、空间网状桁架、端柱、顶底枢(支承座、轴承、轴、承轴台、蘑菇头)、上下拉杆、调节螺母、浮箱、工作桥、防撞物、埋件、油润滑系统等组成。配套有液压启闭机,控制房。采用BIM5D(3D、T、WBS)技术对船闸工程进行设计,利用创建好的BIM模型提升设计质量,减少设计错误,通过时间维度对过程的各个阶段进行控制,获取、分析工程量成本数据,并为施工建造全过程提供技术支撑,为项目参建各方提供基于BIM的协同平台,有效提升协同效率。确保构造物在全生命周期中能够按时、保质、安全、高效、节约完成,并且具备责任可追溯性。

2.1 在设计阶段:通过参数模型整合各种相关信息,对项目进行策划。运用3D实体技术,将以往的线条式的构件形成一种三维的立体实物图形展示在业主的面前;设计方与业主方就建筑物各种布置形式,闸门的内部结构,防撞支架及柔性护木的位置,工作桥与边墩对接位置进行模拟实物性探讨;可对船闸充放水时间、过船量、带小水头差的开闸可行性模拟评价,甚至对建成后的经济效益预先进行评估,从而可以进一步优化设计,节约投资,将投入与后期的回报结合起来考虑,提高项目实施后的效益。通过参数化设计,大大缩短变更设计时间,让技术人员释放出更多空间来进行设计创新。而通过BIM技术,更能让土建、水工、金结、电气、液压各专业的人员协同到一个平台上进行设计,增加了各种人员间的互动性和反馈性,过去往往由于各专业设计师之间的沟通不到位,而出现各种专业之间的碰撞问题,这样就减少设计差错,也为决策者提供了方便。这种技术产生的效果图要比分包给专业的效果图制作团队进行识读设计制作出的线条式信息,具有更多信息量及互动性。

参数化建模指的是通过参数而不是数字建立和分析模型,简单地改变模型中的参数值就能建立和分析新的模型;BIM中图元是以构件的形式出现,这些构件之间的不同,是通过参数的调整反映出来的,参数保存了图元作为数字化建筑构件的所有信息。[2]

2.2 在制造阶段:船闸工程制造难度部分主要在于三角门,考虑到运输、吊装的限制,根据闸室的宽度、高度,一般要纵分,横分四块以上。具体要求的块信息包括大小、位置、重量、重心等都3D形式出现,便于工艺人员与设计方、制作人员、运输人员、吊装人员进行一目了然地沟通。充分利用模型信息,对板、杆、球铰点、梁、柱等进行精准下料与编号,有序转入下道工序,进行构件制造与检验。

2.3在总装阶段:根据运输与起重许可条件,对检验好的构件组装成总装用的各个块单元,对各个块接口留置有数字信息。根据施工组织设计的要求,模拟船闸工况,按次序进行组拼,发现问题,及时沟通与解决。引进BIM技术后,就不需要像过去一样,在工厂内部试组装,对空间复杂的构件留有足够的长度去现场修配。

弧形三角门的安装顺序:放样→预埋件安装→承轴台安装→顶、底枢安装→端柱安装→搭设闸门总装平台→下桁架安装→下节闸门安装→上节闸门安装→上桁架安装→焊接→矫正→试运行→中、底侧止水安装→底、侧止水埋件安装→工作桥结构、防护结构安装→焊接→防腐→集中润滑装置安装→联合调试。用这种文字描述来想象空间结构就很费劲,如用3D技术来动画演示,就是不懂专业的人也能看的明白。

2.4在调试阶段:在三角门、阀门、启闭机、电气系统等各个模块装配好后,各承包体先行自检,并将相关信息反馈到对应模型中,有问题解决问题,没问题联合检验。合格后先在水工工况下,手动或点动试验。有水联调,合格后,工程交接。

2.5 在运维管理阶段:后期运营阶段可以模拟日常情况的处理方式,因为BIM模型提供了建筑物的实际存在的信息,包括几何信息、物理信息、设备性能、操作规程,设备来源也可追溯,对维护管理也很便捷。

2.6在时间方面:三维模型再加上时间维度,可以进行虚拟施工。闸底板、闸墙、上下闸首、输水廊道、闸门埋件、闸门、阀门、地面建筑物、启闭机、电气设备进场时间,施工时段,都可按序结合施工方案进行施工模拟。随时随地直观快速地将施工计划与实际进度进行对比,同时进行有效协同,施工方、监理方、业主方都能对工程项目的各种问题和情况了如指掌。

2.7在成本方面：模拟性并不是只能模拟设计出的建筑物模型，BIM数据库的创建，通过关联数据库的建立，可以准确快速计算工程量。由于BIM数据库的数据粒度达到构件级，可以快速提供支撑项目各条线管理所需的数据信息，有效提升施工管理效率。以各工序分层构件为单位工程量，人材机单价为主要数据进入实际成本BIM中。未有合同确定单价的项目，按预算价先进入；有实际成本数据后，及时按实际数据替换掉，动态维护实际成本BIM，大幅减少一次性工作量，并有利于保证数据准确性。材料与实际成本，要以实际消耗为最终调整数据，而不能以财务付款为标准，材料费的财务支付有多种情况：未订合同进场的、进场未付款的、付款未进场的按财务付款为成本统计方法将无法反映实际情况，会出现严重误差。人工费也按实际成本拆分与填入。管理费实际成本，由财务部门每月盘点，实际成本不确定的项目仍按预算成本进入实际成本。建立实际成本BIM模型，周期性按时调整维护好该模型，统计分析工作就很轻松，软件统计分析能力可满足我们各种成本分析需求。由于建立基于BIM的实际成本数据库，汇总分析能力大为加强，速度快，短周期成本分析不再困难，工作量小、准确、效率高，从而来实现成本控制。

2.8在管理方面：管理的支撑是数据，项目管理的基础就是工程基础数据的管理，及时、准确地获取相关工程数据就是项目的核心。施工企业精细化管理很难实现的根本原因在于海量的工程数据，无法快速准确获取以支持资源计划，致使管理效率低、浪费重。BIM的出现可以让相关管理条线快速准确地获得工程基础数据，为施工企业制定精确人材计划提供有效支撑，减少了资源、物流和仓储环节的浪费，为实现限额领料、消耗控制提供技术支撑。

BIM数据库可以实现任一时点上工程基础信息的快速获取，通过合同、计划与实际施工的消耗量、分项单价、分项合价等数据的多算对比，可以有效了解项目运营是盈是亏，消耗量有无超标，进货分包单价有无失控等等问题，实现对项目成本风险的有效管控。

3 结论

BIM技术是一种应用于工程设计建造管理的数据化工具，运行和维护的全生命周期过程中进行共享和传递，使工程技术人员对各种建筑信息作出正确理解和高效应对，为设计团队以及包括建筑运营单位在内的各方建设主体提供协同工作的基础，在提高生产效率、节约成本和缩短工期方面发挥重要作用。船闸工程在水工建筑物中相对复杂，但应用BIM技术后，无论在设计施工阶段，还是在运维管理方面，都能高效方便地处理，收到了较好的效果。

参考文献

- [1] 俞洪良，毛义华编著. 工程项目管理：浙江大学出版社，2014.12
- [2] 何铭新，李怀健主编；土木工程制图第4版：武汉理工大学出版社，2015.07

浅谈基于 BIM 的水工金属结构在线监测技术研究

梅燕, 王国栋, 周文辉

(成都众柴科技有限公司, 四川成都, 610000)

摘要: 本文简要介绍了目前 BIM 技术在水利水电工程金属结构的应用情况和在线监测技术发展现状, 通过工程运行相关方的需求分析, 提出了基于 BIM 的水工金属结构在线监测系统在工程运维阶段的必要性和可行性, 并根据工程实践, 介绍了开展在线监测的实现思路和方法。

关键词: BIM, 在线监测, 金属结构, 运行维护

1 概述

BIM (Building Information Modeling) 即建筑信息模型, 是以三维技术和信息技术为基础, 将工程项目在全生命周期中各个不同阶段的工程信息、过程和资源集成在一个模型中的技术。作为对工程设施的建构与管理的数字化表达, BIM 具备设施的物理 (包括几何形状与位置) 与功能特征, 并成为用以在设施的全生命周期中支持决策的共享知识资源。BIM 技术不仅仅是设施的三维设计模型, 还牵涉到工程的作业流程与全生命周期信息的管理, 而应用的重点则在于对工程设施的全生命周期的决策支持。

水工金属结构设备在运行过程中, 常发生振动、磨损、变形和缺陷扩展等现象, 这些现象达到危害程度时, 水工金属结构设备将出现故障或事故, 进而直接影响水电站的安全运行。为了及时地检测设备在运行过程中发生的缺陷和故障, 从而分析判断设备的健康状况及进行趋势预警, 以确保设备的运行安全, 我公司经过长期研究, 开发出了水工金属结构设备状态在线监测系统。

目前我公司可开展的在线监测的项目涵盖了闸门、启闭机、引水压力钢管、钢岔管、机组蜗壳等不同类型的水工金属结构设备, 在国内知名大学和各流域水电开发公司的支持下, 率先研发出具有完全独立知识产权、将传感技术、通信技术和网络技术应用于水利水电工程金属结构的实时在线安全监测系统, 实时采集主要技术数据、通过信息传输与处理, 实现对工作闸门、压力钢管的静应力、动应力、动力响应、运行姿态、支铰轴承运行状态的实时在线监测; 对卷扬启闭机、液压启闭机、升船机主要构件的工作应力、起升传动机构的振动模态、钢丝绳内部缺陷、门架结构的振动模态和倾覆、主梁对接焊缝开裂监测等的实时在线监测。为水电工程管理运行安全提供技术性支持, 填补了我国水利水电工程金属结构实时在线监测的空白。

基于已实施的多项在线监测工程的成功经验, 我公司经分析研究, 认为在线监测未来发展的一个方向是: 开展基于 BIM 的在线监测技术研究与应用。

2 现状

目前, 多数水利水电设计单位已经在尝试开展 BIM 设计工作, 少数水平较高的设计单位已经取得了相当丰厚的成果。如南水北调中线工程的建设过程中, 设计单位引入 BIM 理念, 利用 Civil 3D 完成勘察测绘、土方开挖、场地规划和道路建设等的三维建模、设计和分析等工作, 提高设计效率, 简化设计流程。在工程施工之前, 以数字化的方式进行施工过程模拟, 在建设过程中, 实现了项目各参与方之间的信息共享, 从而有效避免了可能产生的设计与施工、结构与材料之间的矛盾, 避免了人力、资本和资源等不必要的浪费。在国内其他水利水电工程的建设过程中, BIM 技术也得到了广泛的应用。

现有的 BIM 工作主要应用在工程的设计和施工阶段, 一般是由设计单位完成的, 由水工、坝工、勘测等土建专业牵头, 从前期的坝型坝址选择, 到初步设计阶段的主要工程量计算, 再到施工期的专业间协同设计。BIM 平台在设计和施工阶段发挥了整合资源, 全局协调的重要作用。

但是, 我们也要看到, 在上述过程中, 水电, 电气, 暖通等以设备为主的专业在 BIM 平台中的作用被边缘化, 金属结构专业也是这样, 工程量偏低, 在总投资控制中占比较小, 只有门槽, 闸房等少量与土建模型交互配合的数据, 在 BIM 这一模型信息平台中, 信息量明显偏少。

对于一个水利水电项目来说, 需要在数十年的寿命期内持续发挥作用, 而 BIM 平台仅为设计和建设单位服务, 服务周期也仅到施工期结束, 对运行管理单位来说, 在占有工程生命周期大部分的运维阶段, BIM

平台基本无法继续使用。这与与建筑领域全流程、全寿命的 BIM 管理，还有相当大的距离。

运管单位基于“无人值守，少人管理”的理念，另起炉灶，花费巨资建立自动化管理系统，目前技术已经比较成熟，能够在中控室就完成多数设备的控制。针对金属结构专业，中控室能对半数以上启闭机进行开、关、停的控制，读取数据包括开度，荷载，以及其它电气信息。

在我公司的努力下，个别工程已增设了闸门、启闭机的在线监测系统，集数据采集、处理、传输、存储、分析、研判功能于一体，能够实时的将设备的各项状态反馈给运行管理人员，且具有前瞻性预警功能，为维护保养、科学决策提供了技术保障，保证了金属结构设备长期连续可靠运行。但我公司也认识到，现有的在线监测技术，缺乏针对数据研读和判别的依据，只能根据现行规程规范确定的数值进行诊断，类似主梁挠度等形变数据，仅以规范值判别，仍有可能超过设计值的风险。

3 需求分析

1、运管单位有打通 BIM 平台与管理控制自动化平台的强烈需求。

(1) 建立以机电、金结设备为主要控制对象的管理控制自动化平台，如能有效利用已有的机电、金结 BIM 信息模型，将起到事半功倍的作用。

(2) 重新建立的管理控制自动化平台，缺少机电、设备设计信息，不利于科学、高效、可靠的对现有设备进行控制。

(3) 使有已有 BIM 平台中的机电、金结设备信息模型具有先天优势，对已进入运行管理期的设备进行长期连续在线监测，并对比初始设计值，能有效评估设备的可靠性。

(4) 机电、金结设备种类多，专业性强，管理控制自动化平台承包商往往是擅长编写程序的自动化企业，对各设备的特点了解不够深入，针对性差，其管理、控制也不可能抓住痛点和重点，而且将重心放在控，而对设备的运行状态监而不测，也不进行分析研判，往往造成设备长期失控，带病运行，直至发生失效，方进行维修更换。BIM 平台是由专业设计研究单位建立，模型本身专业性就非常高，补充更丰富的信息后，就可以成为更专业的自动化平台的基础。

2、各级水行政主管部门希望能打通 BIM 平台与管理控制自动化平台。

水电项目多是关系国计民生的基础工程，各型设备的工作状态，可操作性往往关系着国家群众生命财产安全，以及国家能源，资源战略安全。现有水性测报系统已经接入水行政主管部门及有关职能部门，对全流域和理安全调度具有重要意义。然而，事关安全运行的闸门状态，启闭机的状态，可操作性仍是监管的盲区。开展基于 BIM 的在线监测，能有效监测各设备的工作状态，实时汇总，研判，在我国水安全领域，具有技术先进性。

3、开展基于 BIM 的在线监测活动，有利于推动全行业的技术进步。

在线监测技术成熟前，想要了解一个或一套设备实际运行时的状态，需要开展原型观测，花费大量时间，精力，人力，物力和财力，产生的数据，也只有极少数研究单位掌握。

开展基于 BIM 的在线监测后，能对相应设备取得长期持续不间断的海量数据，较原型观测，数据有效性更强，范围更广泛。不但可用于运行管理单位加强维护保养，提高管理水平，也可供科研单位进行研究，更可由原设计单位分析再利用，不断提高设计水平，也是为除险加固、技术升级改造指明了方向。

4、开展基于 BIM 的在线监测，可以拓展 BIM 平台的应用范围和使用寿命。

与在线监测技术结合后，BIM 平台从施工阶段，延长至工程运管阶段，实现全流程、全寿命的使用，大大提高了平台的使用效率。

5、现有国家政策要求金属结构设备每五年检测一次，时间周期长，不利于设备持续受控

6、突发条件下，如地震，漂浮物撞击后，往往需要应急操作。如无 BIM 提供理论值与在线监测值比较，不能科学的评价设备的状态和可操作性。只能盲目尝试，冒设备失控，事故扩大的风险。

4 优势

我公司开展基于 BIM 平台的在线监测技术具有以下优势：

1、我公司率先在国内开展在线监测技术。

我公司于 2016 年尝试引进金属结构实时在线监测技术，这两年来在一些工程上实施了在线监测，监

测项目包括：弧门、液压机、固卷、门机、船闸人字门等。截止目前，已先后在三峡集团溪洛渡电站、向家坝电站，国电大渡河流域水电开发有限公司枕头坝电站、大岗山电站等项目中成功实施了闸门、启闭机的在线监测。

2、我公司在线监测技术自有知识产权

国家能源局下达“2018年能源领域行业标准制定计划”，确定由众柴科技和大渡河水电开发公司联合制定“水电工程金属结构设备在线监测系统技术条件”等两个国家行业标准，全面推进在线监测系统在水利水电工程上的使用。（见国能综通科技 2018 第 100 号文）

到 2018 年 10 月，我公司共申请了 20 余项专利，拿到授权的近 10 项，取得了相关软件著作权一项及成都信息处理产品中心的软件产品登记测试报告。

3、我公司具有强大的技术实力

我公司现有技术研发人员数十人，基本上全部由教授级高级工程师、高级工程师或硕士研究生毕业等技术人员组成。并依托河海大学、中国电子科技大学等知名院校，联合进行技术研发，公司已获批准或正在申请专利十余项。目前，正按照国家能源局的统一安排，与国电大渡河流域水电开发有限公司共同编制水工金属结构在线监测等两个国家行业标准，并按计划将在 2019 年完成。

4、我公司长期与各大中型设计单位保持良好合作关系。

我公司始终关注 BIM 领域的发展和进步，安排专人研究 BIM 技术与在线监测技术的融合与创新，引领本专业的发展方向。

基于以上几点，我公司有实力，也有能力开展基于 BIM 平台的在线监测研究。

5 开展基于 BIM 的在线监测思路与方法

经过大量在线监测项目的实施，以及对 BIM 技术的研究，我认为主要在以下几个方面开展与 BIM 平台的融合与扩展。

1、前期介入 BIM 平台的搭建

在可研，初设阶段，协同机电及金结有关专业，确定在线监测的内容、任务；确定数据采集点的布置，数据处理层、协议转换层和数据传输层的框架搭建；提出主要设备、线缆等工程量，并汇入有关设备的 BOM 表，供投资框算使用。

2、施工图设计阶段，积极参与 BIM 协同设计

在施工图设计阶段，即提出有关传感器的安装位置，BIM 模型中示出形位信息，以及安装测试要求。

如：闸门设计完成后，利用已有的三维模型进行振动特性分析，取得闸门固有频率的理论值，作为后期实测和运行期预警的参考基准。

又如：在满足强度的前提下，于支铰轴上提前布置各型传感器，以监测轴承状态和可靠性。较外置式拾音型传感器分析摩擦特性要准确的多。

3、制造、安装期延展 BIM 平台的功能，以在线监测技术，协助有关单位高质量制造、安装有关设备。

例如，在左右支铰轴上设置激光发射与接收装置，制造阶段利用工厂高精度的机加工设备和夹具保证传感器的精确位置后，安装阶段，即可开启在线监测系统，协助安装单位控制左右支铰高差和同轴度偏差，降低安装难度。工程投入使用后，还可监测左右闸墩的不均匀沉降，依据变形趋势，提前预警支铰超差的可能性，在弧门失去操作性前，即进行技术维修。

又如，设置于启闭机的钢丝绳漏磁传感器，在安装调试阶段投入使用，其结果可作为设备能否投入使用的判断依据，远比一张盖章的钢丝绳出厂合格证要更有份量。

如上例，通过 BIM 技术与在线监测技术的融合，设计单位建立的 BIM 平台在施工图出版后，服务期结束后，将该平台的寿命延长至制造、安装、运行阶段，我认为是一种有益的尝试。

4、打通 BIM 平台和运行管理自动化平台间的信息壁垒

BIM 平台中的模型，有大量而丰富的信息，如形状，位置，尺寸等，但又缺少振动、应力、变形等信息；运行管理自动化平台突出远程控制，但设备动作前的状态是未知的，可操作性是不确定的，操作完成后的结果是不准确的。我公司开展基于 BIM 平台的在线监测技术，有望打通这两个系统的信息壁垒，一方面，从 BIM 平台取得设计时的理论外形尺寸，位置信息，在我公司在线监测取得的海量数据基础上，进行科学研判；另一方面，向自动化平台反馈操作前设备的状态、可操作性信息，以及操作后的设备状态，结

果。发挥桥梁和媒介的作用，将信息在两个系统间传输和分析，为决策提供有质量的第一手资料。

5、开展基于 BIM 的在线监测技术，能提高设备可靠性。

现有各型启闭机设备，由于开度指示，荷载传感器精度由外购的仪表决定，精度参差不齐，更倾向保护相应设备的安全。我公司拟开展的基于 BIM 的在线监测，则不仅仅是保证设备的安全运行，更多的是为设备的可操作性，可靠性提出数据依据。另一方面，我公司已建立覆盖全面的质量保证体系，传感器均经检定/校准后，方投入使用，均为有证的计量设备，其测量值具有良好的可追溯性和可重复性，取得的数据比设备自带的荷重，开度仪更具有客观性。

6 结语

目前，与较为成熟的 BIM 技术相比，在线监测还处于原始积累和发展的初级阶段，谨以我公司一点浅陋的研究，希望能在水利水电工程建设中，做出一点微薄的贡献。我公司也希望参与到更多的 BIM 平台建设中去，多学习，多交流，不断成长。

冷涂锌在水利水电金属结构防腐领域的应用

廖建春¹，易志鹏¹，廖有为^{1,2,3}

(1.湖南金磐新材料科技有限公司长沙市 410124;2.中南林业科技大学材料科学与工程学院长沙市 410007;3.湖南省腐蚀与防护学会长沙市 410012)

摘要：水利、水电工程中需要大量的钢结构，但由于其环境恶劣容易造成腐蚀进而带来各种安全隐患和经济损失，所以传统的水工钢结构普遍采用热喷锌进行防腐处理。但是近年来出现一种新型喷锌工艺——冷喷锌，不断在国内各大项目上被设计使用，并取得了不错的使用效果。
关键词：水利水电工程钢结构防腐热喷锌新型喷锌工艺冷喷锌

1 引言

近年来在国内飞速发展的经济大环境下，水利水电行业呈现出前所未有的蓬勃发展，水利、水电工程项目不断增加，且在我国的各个省市都有所分布。水利水电工程钢结构防腐处理是水利水电工程建设关键要素之一，这直接影响水利水电工程的质量。10 年以前我国建设的大量水利工程目前已进入了维修维护的高峰期，钢结构的防腐维修是整个维修工程的重点之一^[1]。

水利水电工程钢结构（如：钢闸门、拦污栅、引水钢管等）长期处于恶劣的腐蚀环境中，受氧、水、高速水流、水中漂浮物以及海水等化学和物理的综合作用，容易产生严重的腐蚀。水工钢结构受到腐蚀损伤后，构件截面面积减少，降低结构承受能力，影响设备正常使用功能，缩短使用寿命^[2]。水工钢结构目前通常采用热喷锌进行防腐保护。热喷锌在使用及性能等方面存在诸多不足如：高耗能、危害工人身体健康、环境污染、施工难度大、施工效率低、涂层孔隙率高、锌层易氧化、涂层破损难修复、成本高等等^[3]。针对以上问题开发的干膜锌含量在 96% 以上的冷涂锌，能够提供长效持久的阴极保护。

2 冷喷锌简介

冷喷锌是近年研制的一种新型喷锌工艺，该工艺可以取得与热喷锌、热镀锌相同的防腐效果。

2.1 冷涂锌组成及特点^[4-8]

- (1) 一种单组分的重防腐材料，由高纯度的锌粉、挥发性溶剂的和导电树脂组成。
- (2) 干膜锌含量高达 96% 以上，能够为钢铁基材提供与热喷锌、热浸锌相同的阴极保护效果，涂层同时具备较好的屏蔽保护作用。
- (3) 性价比高，每平方综合使用成本低，使用年限长，施工快、易修补。
- (4) 施工便捷，可以喷涂、辊涂、刷涂。

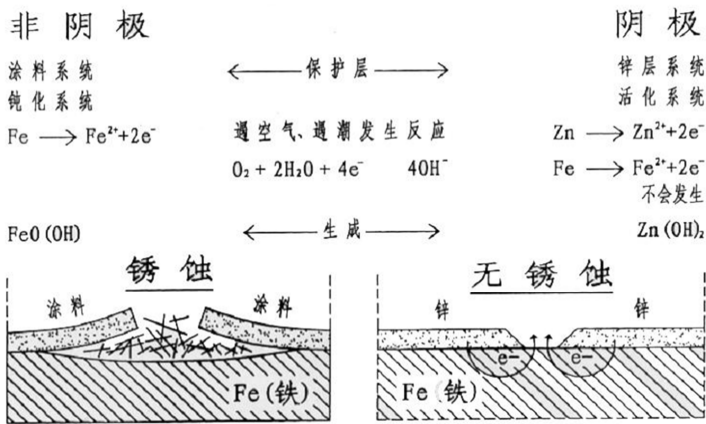


图 1 防腐机理

2.2 防腐机理

在钢材料防腐过程中，导电包覆树脂^[9]和超细锌粉^[10-11]共同作用，使冷涂锌涂层能同时提供阴极保护和屏障保护，并利用自修补效应强化防腐蚀效果。冷涂锌涂膜完好无损时，致密的涂层能有效隔绝腐蚀介质，保护基材，但涂膜一点受损露出钢铁基材时，锌粉与钢铁基材会通过导电网络迅速形成腐蚀原电池，锌的标准电位比较低，较铁活泼，在腐蚀过程中锌作为阳极优先被腐蚀，钢铁基材作为阴极受到保护（如图 1 所示）。锌在氧化过程中生成多种腐蚀产物，这些腐蚀产物粒径小，表面活性高，形成后沉积在涂层间隙及缺陷中，使涂膜更为致密。致密的涂层不仅阻止了钢铁基材与腐蚀介质进一步接触，延缓了腐蚀。而且提高了涂膜的机械强度，避免了涂膜再受损害（如图 2 所示）。随着锌氧化物的形成，涂层继续破损而露出新鲜的金属锌时，电位差又立即增大，阴极保护重新起主导作用，并且对钢结构基材提供有效后续防护^[12-17]。

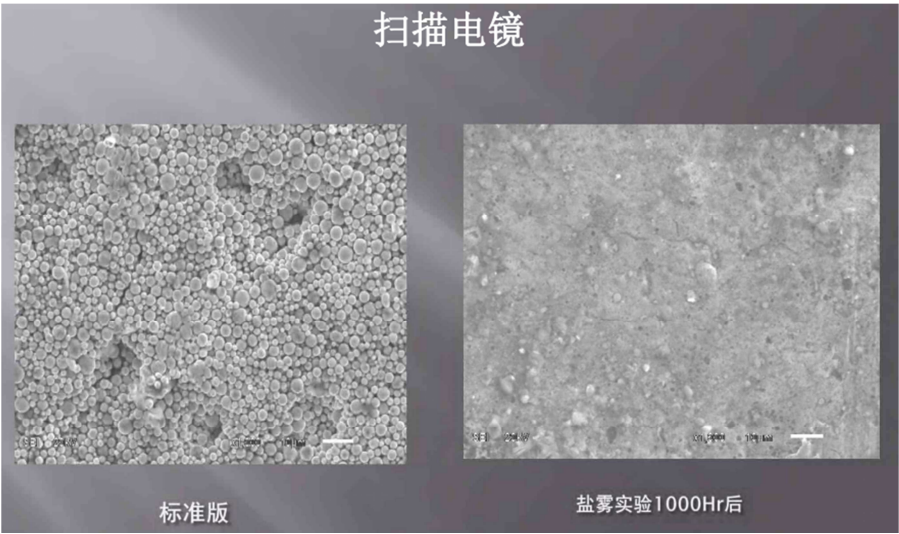


图 2 盐雾试验前后表面形貌对比

2.3 性能指标

冷涂锌具有优异的阴极保护，极好的耐冲击性、重涂性好。涂层与钢铁底材以及涂层之间附着力好。能适应重载冲击和环境温差引起的热胀冷缩，长期使用不龟裂，不脱落^[18-20]。

冷涂锌基本性能如表 1 所示，检测方法依据相关国标标准^[21]。

表 1 冷涂锌性能指标

检测项目	技术要求	检测标准
容器中的状态	搅拌均匀后无硬块，呈均匀状态	目测
不挥发份含量/%	≥80	GB/T 1725-2007
不挥发物中金属锌含量/%	≥92	HG/T 3668-2009
不挥发物中全锌含量/%	≥95	HG/T 3668-2009
干燥时间/h 表干	≤0.5	GB/T 6890-20122
实干	≤24	GB/T 1728-1989
漆膜外观	正常	目测
柔韧性/mm	≤2	GB/T 1731-1993
耐冲击/cm	50	GB/T 1732-1993
划格实验/级	≤1	GB/T 9286-1998
附着力（拉开法）/MPa	≥5	GB/T 5210-2006
耐盐雾性	2000 h 以上划线处无红锈，单向扩蚀≤2.0 mm，未划线区无开裂、剥落、生锈等现象，允许气泡等级≤1（S3）级、生锈等级≤1（S2）级	GB/T 1771-2007 GB/T 1766-2008
与后道漆的配套性/MPa	≥3	GB/T 5210-2006

冷涂锌较热喷锌相比，具有明显优势。对比情况见表 2 所示。

表 2 冷涂锌与热喷锌对比

热喷锌	冷涂锌
采用锌丝，使用时需加热至熔融状态，能耗高	采用超细锌粉，常温下即可施工，能耗低
施工难度大，效率低	类似涂刷油漆的方法，施工简单，效率高
经过了熔融，锌层易氧化	常温下附着在钢铁表面，锌层不易氧化
锌层孔隙率高	锌层致密，孔隙率低

2.4 涂装配套方案^[23-24]

冷涂锌涂装尽可能在车间内完成，车间内涂装具有更好的喷砂和涂装条件，涂装周期短，质量容易控制。

涂装前，需对基材表面进行表面处理：喷砂、抛丸除锈，然后吹掉粉尘。除锈等级 Sa2.5，做到无明显锈皮、锈斑、氧化皮（注意：除锈后 2 h 内要开始喷冷涂锌）。喷涂方式及相关参数见表 3。

表 3 喷涂方式相关参数

项目	施工方法	
	空气喷涂	高压无气喷涂
喷出压力/MPa	0.3~0.4	10.0~16.0
喷嘴口径/mm	1.5~2.5	0.48~0.63

冷涂锌层作为底漆使用时，推荐中间涂层为：环氧云铁；推荐面漆为：氯化橡胶、丙烯酸聚氨酯、冷涂银以及银富锌面漆等。

3 冷涂锌在湖南宁乡前丰水闸上的应用

3.1 工程概述

2017 年前丰水闸闸门钢结构涂装面积 1000 m²，按照业主和设计单位的要求，该闸门采用了新颖的涂装配套，以冷涂锌代替热喷锌作底漆，再复涂环氧云铁中层漆、氯化橡胶面漆等重防腐涂料，使钢闸门具有 15 年以上的使用寿命。

2.2 根据业主要求和上述设计原则，确定闸门的涂装配套为表 4 所列

环氧云铁中层漆的特性：环氧云铁中层漆里面含有鳞片状云母氧化铁，具有良好的抗渗透屏蔽性能、封闭性能，可以增强整个涂层的防腐性能。另外，由于冷涂锌不耐溶剂，而环氧云铁固含量较高，溶剂少，非常适合冷涂锌的配套。

表 4 闸门涂装配套表

序号	涂层	道数	干膜厚度/ μm	生产单位
1	冷涂锌	2	120	湖南金磐新材料科技有限公司
2	环氧云铁中层漆	1	80	-
3	氯化橡胶面漆	1	80	-
合计		4	280	

3.3 工艺流程

喷砂除锈（Sa2.5 级）→对焊缝、转角、切边、板边缘以及隐蔽部位预涂一遍冷涂锌→喷冷涂锌 2 道（共 120 μm ）→喷环氧云铁中层漆 1 道（80 μm ）→最后喷涂氯化橡胶面漆 1 道（80 μm ）→检查涂装质量→修补→交验。

3.4 钢结构水闸门的表面处理

钢材表面处理的质量是整个涂装工艺的核心。

冷涂锌对表面处理的要求：钢材表面经喷砂或抛丸达到 GB8923-88《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》Sa2.5 级，钢材表面无可见的油污、氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物，任何残留的痕迹应仅是点状或条纹状的轻微色斑。喷砂后钢板表面粗糙度为（70~80） μm 左右，在切割、焊接、组装过程中，局部产生的二次锈斑等部位，均用手工打磨清理，清洁度达到 St3 级。

3.5 涂装环境条件的掌握

施工环境相对湿度：相对湿度小于 95%即可涂装；

钢材表面温度：表面温度低于 60 °C，高于露点 3 °C，表面无水和冰；

冷涂锌层上涂覆其他配套涂料（4~12）h（根据冷涂锌表面干燥情况）；

喷涂设备：每次施工前后都必须用冷涂锌专用稀释剂清洗干净。

3.6 无气喷涂技术条件

除预涂外,闸门的涂装均采用无气喷涂法,采用重庆长江机械厂 QPT3256C 型富锌涂料喷涂机;环氧云铁采用 QPT6528 型喷涂机,具体技术条件见表 5。

表 5 无气喷涂技术条件

品名	喷漆压力/MPa	喷嘴口径/mm	喷嘴喷幅/cm	喷嘴流量/NL.min
冷涂锌	18.0	0.63	25~35	2200
环氧云铁中层漆	20.0~25.0	0.4~0.5	25~35	900~1300
氯化橡胶面漆	15.0~20.0	0.4~0.5	25~35	900~1300

3.7 其他喷涂技术条件

三种材料都按照对应的说明书进行操作。

各涂装配套的干燥时间、复涂间隔按表 6 所示执行。

表 6 涂装配套的干燥时间、复涂间隔

品名	表干时间	硬干时间/h	最短复涂时间/h	最长复涂时间/h	备注
冷涂锌	8 min	≤4	2	不限	施工温度 20 °C
环氧云铁中间漆	≤2 h	≤24	24	3 个月	
氯化橡胶面漆	≤2 h	≤12	8	不限	

3.8 漆膜表面质量

表面光洁、无流挂、漏喷、针孔、发白、气泡等常见的漆膜弊病。

3.9 膜厚质量

膜厚质量包括两个方面:一是每道配套涂料要达到规定的膜厚的要求。特别是冷涂锌,必须达到 120μm,以保证钢闸门的防腐性能。二是涂层的总膜厚度。根据涂装工艺质量校验员的检测:冷涂锌测试点的干膜厚度平均能达到 85%的要求,同时检测点的干膜总厚度不小于规定膜厚的 85%。

4 结语

冷涂锌是一种长效、环保、施工便捷、性价比高的重防腐材料,将会在水利水电钢结构防腐工程上被广泛采用。

参考文献

- [1] 宋冰. 水利水电项目施工技术及管理研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2017, (10): 1.
- [2] 周金生, 王纯芳, 孙守祥, 等. 引嫩工程钢闸门喷锌防腐技术措施与实用效果[J]. 黑龙江水利科技, 1996, (1): 83-86.
- [3] 赵旭光, 林海. 浅谈监理对热喷锌防腐技术的质量监控[J]. 中国科技纵横, 2011, (16): 344-344.
- [4] 李焱. “冷涂锌”在防腐领域中的应用[A]. 全面腐蚀控制, 2009.
- [5] 李敏风. 涂层新材料-冷涂锌的优良特性(2)[J]. 现代涂料与涂装, 2006, (08): 58-59.
- [6] 王浩. 冷涂锌防腐涂料的性能及在钢铁结构防腐中的应用[A]. 2009.
- [7] 本刊编辑部冷涂锌知识问答[J]. 现代涂料与涂装, 2006, (08): 57.
- [8] 杨瑞, 原玲, 刘虎, 等. 冷涂锌防腐涂料的制备及性能研究[J]. 涂料工业, 2016, 46(05): 39-43.
- [9] 李祝. 包覆型导电填料的制备及其对环氧树脂的导电性能影响[D]. 广州: 广东工业大学, 2016.
- [10] 林峰, 雷晓旭, 王进宝, 等. 超细锌粉的制备及其对应用前景[J]. 材料保护, 2013, 46(05): 48-51+1.
- [11] 贺慧生, 梁进. 超细锌粉的产生与应用[J]. 有色金属(冶金), 1998, (05): 41-44.
- [12] Hara M, Ichino R, Okido M, et al. Corrosion protection property of colloidal silicate film on galvanized steel[J]. Surface and Coating Technology, 2003, 169: 679-681.
- [13] Montemor M F. Functional and smart coatings for corrosion protection: a review of recent advances[J]. Surface and Coatings Technology, 2014, 258: 17-37.
- [14] Mirmohseni A, Oladegaragoze A. Anti-corrosive properties of polyaniline coating on iron[J]. Synthetic Metals, 2000, 114(2): 105-108.
- [15] 翁永基. 锌基防护层的保护机理及其使用特性[J]. 腐蚀科学与防护技术, 1993, (01): 66-69+74.
- [16] 廖有为, 肖邵博, 万长鑫, 等. 冷涂锌涂料的防腐性能[J]. 腐蚀与防护, 2016, 37(03): 245-248.
- [17] 廖有为, 肖邵博, 车铁材, 等. 冷涂锌涂料的应用现状及发展趋势[J]. 电镀与涂饰, 2015, 34(22): 1293-1298.
- [18] 吴凯峰. 冷镀锌涂料[J]. 材料保护, 2005, 38(12): 46.
- [19] 高湛, 李华. 冷喷锌防腐工艺研究[J]. 建材世界, 2010, 31(5): 80-82.
- [20] 李敏风. 冷涂锌的性能和应用[J]. 电镀与涂饰, 2014, 33(18): 788-790.

- [21] 李敏风. 冷涂锌的涂层配套设计和无气喷漆技术[J]. 涂料技术与文摘, 2015,36(04): 18-20+24.
- [22] 李敏风. 钢结构冷涂锌配套方案[J]. 电镀与涂饰, 2009, 28(01): 64-66.
- [23] 廖有为. 冷涂锌涂料[M]. 北京: 北京工业出版社, 2017.

水工金属结构防腐面积计算公式

邢述炳

(中设设计集团股份有限公司, 江苏南京 210014)

摘要: 防腐是水工金属结构施工中的重要工序, 防腐面积的准确性将影响工程造价。在传统拆解法、投影法和类比法的基础上, 分析了水工金属结构的基本特征, 提出了由结构质量、重叠系数、平均板厚和材料密度等构成的防腐面积计算公式。结合闸阀门及拦污栅的结构特征, 给出各门型及拦污栅的重叠系数。工程算例表明, 该经验公式及重叠系数具有较高的准确性, 提高了设计人员的工作效率, 便于水运水利行业推广运用。

关键词: 水工; 金属结构; 防腐面积; 计算公式; 重叠系数; 闸阀门

1 引言

水工金属结构工作环境恶劣, 防腐是施工中必不可少的工序, 防腐效果很大程度上决定了其使用寿命, 而防腐面积的准确程度将影响工程造价, 不得不考虑^[1]。传统的防腐面积计算方法通常有三种: 第一种是拆解法, 即逐个部件计算表面积然后再累加; 第二种是投影法, 即认为水工金属构件的防腐面积近似等于投影面积的数倍^[2]; 第三种是类比法, 即参考相似工程经验进行类推。第一种方法虽然准确, 但是将耗费大量人力劳动, 严重影响设计人员的工作效率; 第二种方法估算虽然较为简洁, 但往往跟实际出入较大; 第三种方法类比计算虽然较为简洁, 但是依据前期的经验, 几次类比后结果可能已经偏离实际。

笔者从水工金属结构的特性出发, 发现几乎所有结构均可简化为板材或近似板材组合结构, 于是建立了“质量-板厚-面积”的线性关系式, 再根据结构的重叠特性, 引入重叠系数对防腐面积进行折减修正。该算法以构件各部件质量已知为前提, 根据重叠系数表, 查出不同水工金属结构的重叠系数, 再代入密度和平均板厚即可算得防腐面积。运用该经验公式, 可以得到较为准确的计算结果, 误差可控制在 2% 以内, 大大提高了设计人员的工作效率, 便于水运水利行业推广运用。

2 防腐面积算法理论

2.1 构件防腐面积简化

水工金属结构的构件通常由板件、型材、钢管和球节点等组成, 其表面积计算各有不同。以常见的钢管支承板梁结构为例, 该结构由面板、主梁、纵梁、次梁、支承钢管和球节点等组成, 如图 1 所示。其中, 面板、主梁和纵梁所有构件均为等厚度板件; 次梁为槽钢, 槽钢截面在脂尖及肢腰交接处存在圆角, 平均厚度近似等于腰厚; 钢管及空心节点球可以看做是由等厚度薄板卷制而成的壳体结构^[3]。

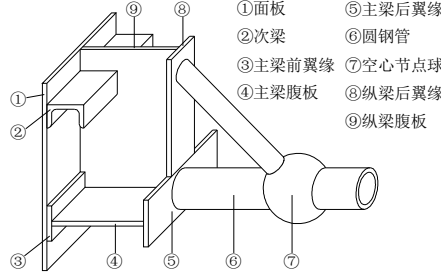


图 1 水工金属结构简图

作者简介: 邢述炳(1984-), 男, 江苏徐州人, 高级工程师, 硕士, 主要从事水工金属结构及机械设计, xingshubing@163.com。

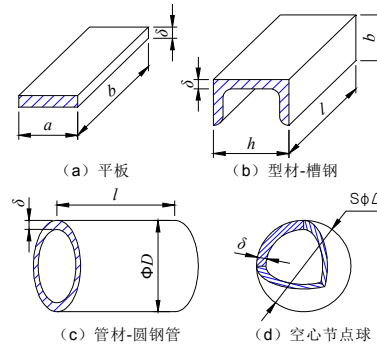


图 2 水工金属结构单元体

从钢管支承板梁结构中取出构件单元体，如图 2 所示。易得平板、槽钢、钢管及空心球总表面积。因为板件长宽、槽钢肢长、钢管和空心球的直径等均远大于构件壁厚，当壁厚 δ 趋近于 0 时，平板、槽钢、钢管和空心球的全表面积均为各自展开面积的 2 倍。故水工金属结构可看做有 n 块薄板微元组成，其总表面积可按式 (1) 计算。

$$A_0 = \sum_{i=1}^n 2ab \quad (1)$$

式中： A_0 ——水工结构总表面积 (m^2)；

a ——薄板微元的宽度 (m)；

b ——薄板微元的长度 (m)。

2.2 防腐面积计算公式

同一金属结构的材料密度 ρ 基本一致，设 n 块金属板件中第 i 块的质量为 m_i ，板厚为 δ_i ，则第 i 块金属板件的质量可表达为式 (2)：

$$m_i = \rho ab \delta_i \quad (2)$$

转化得式 (3)：

$$ab = \frac{m_i}{\rho \delta_i} \quad (3)$$

将式 (3) 代入式 (1)，得 n 块金属板件的总表面积式 (4)：

$$A_0 = \sum_{i=1}^n \frac{2m_i}{\rho \delta_i} \quad (4)$$

若板材平均厚度为 δ ，则有式 (5)：

$$A_0 = \frac{2 \sum_{i=1}^n m_i}{\rho \delta} \quad (5)$$

式中， $\sum_{i=1}^n m_i$ 为构件各微元体的质量。实际上金属构件通常由不同规格的板材叠焊而成，如图 1 中的面板和主梁前翼缘重叠后，其间重叠区不需要防腐。引入板件重叠系数 k ，去除重叠区不需要防腐的面积，得金属构件实际防腐面积计算公式式 (6)：

$$A = \frac{2km}{\rho \delta} \quad (6)$$

式中： A ——结构的防腐面积 (m^2)；

k ——结构的重叠系数；

m ——结构的总质量 (kg)；

ρ ——结构的材料密度 (kg/m^3)；

δ ——结构的平均板件厚度 (m)。

2.3 平均板厚计算

由式(8)转化可得平均板厚式(7),当组成构件的板件厚度离散程度较小时,平均板厚可以根据各板厚的质量权重按式(8)进行估算。

$$\delta = \frac{m}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\delta_i}} \quad (7)$$

$$\delta = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{m} \delta_i \quad (8)$$

式中: δ_i ——第 i 种板件厚度 (mm);
 m_i ——第 i 种板件总质量 (t)。

3 重叠系数

3.1 人字闸门

人字闸门主要由门体结构、支承系统、止水系统、安全保护系统、润滑系统及工作桥等部分组成。其中,门体结构需要进行除锈、喷锌、涂装等防腐工艺,该部分即为本文所要统计防腐面积,而运转件、预埋件、止水橡皮、柔性护木、润滑系统等均不在统计之列。人字闸门门体结构主要由面板、主梁、横隔板、水平次梁、竖直次梁、门轴柱、斜接柱、浮箱、背拉杆、钢护木等组成^[4]。

根据拱轴线的特征,人字闸门主梁普遍设置前翼缘,前翼缘与面板存在重叠区,横隔板、水平次梁和竖直次梁通常不设置前翼缘。对于大型人字闸门来说,为降低顶底枢的支反力减小门头下垂量,通常设置浮箱^[5]。在防腐过程中,浮箱外部与门体防腐工艺相同,内部简单处理即可,故内部不在本次防腐面积统计范围内。背拉杆是改善门体的抗扭刚度的重要构件,中小型人字闸门通常使用非预应力背拉杆,大中型人字闸门通常设置预应力背拉杆^[6]。非预应力背拉杆,盖板将遮住内部面积;预应力背拉杆不存在重叠区。为防止船舶碰撞闸门时对门体结构的破坏,在闸门背水面的最低通航水位以上设置钢护木,钢护木内部及其与梁系后翼缘重叠区不需要防腐,其余部分需要防腐。

以某Ⅲ级船闸人字闸门为例,该船闸承受单向水头作用,最大设计水头 9.43 m,门体结构尺寸为 14.26m×13.584m×1.5m (高×宽×厚),各部位防腐面积统计情况见表 1。

表 1 人字闸门重叠系数及防腐面积

结构名称	平均板厚 δ/mm	质量 m/t	质量占比 /%	总表面积 A_0/m^2	重叠面积 A'/m^2	重叠占比 /%	防腐面积 A/m^2	重叠系数 k
面板	12.0	15.78	18.67	335.11	53.33	15.28	281.79	0.84
主梁	12.9	24.22	28.65	477.02	50.96	14.60	426.06	0.89
横隔板	11.7	9.27	10.96	201.48	0.90	0.26	200.58	1.00
次梁	10.0	2.16	2.55	54.91	0.00	0.00	54.91	1.00
边柱	17.9	12.72	15.04	180.56	0.00	0.00	180.56	1.00
浮箱	12.6	15.08	17.83	304.18	204.16	58.49	100.02	0.33
防撞系	8.3	3.36	3.98	103.04	36.61	10.49	66.43	0.64
背拉杆	20.7	1.96	2.32	24.11	3.10	0.89	21.01	0.87
合计	12.8	84.56	100.00	1680.42	349.06	100.00	1331.36	0.79

注:①浮箱区的主梁、横隔板及次梁等数量在浮箱结构中统计;

②该人字闸门采用预应力背拉杆。

从表 1 中可以看出,人字闸门重叠区主要为浮箱内部、面板与主梁结合处、门背钢护木等,对于不设置浮箱的人字闸门重叠较少。以质量占比作为重叠系数的权数,可得重叠系数为 0.80,与实际重叠系数 0.79 比较接近,说明按分部质量统计防腐面积是可行的。考虑有些人字闸门不设置浮箱,统计分析后得人字闸门重叠系数范围为 0.75~0.9;设置浮箱结构重叠系数可取 0.8,不设置浮箱结构重叠系数可取 0.9。

3.2 三角闸门

三角闸门主要由门体结构、支承系统、止水系统等几大部分组成，其中门体结构通常包括面板系、顶、底片刚架、自重刚架、空间联系刚架、端柱、浮箱、工作桥等^[7]。

三角闸门面板系多采用主梁式弧形结构，纵向布置有横隔板，主梁和横隔板间设置 T 形次梁以加强面板。面板系传来的水压力通过顶底片、斜片等空间网架结构传至顶底枢。空间网架通常有两种结构形式：一种是钢管球节点结构形式，另一种是型钢节点板结构形式。钢管球节点在防腐时，仅计算外表面面积，内部密封不作处理；而型钢节点板结构在防腐时，因重叠区仅为型钢与节点板搭接区域，不存在内部，故表面积相对较大。端柱联接上、下几樘水平网架使闸门形成整体，并将网架传来的水压力传递给顶底枢，具有较大的刚度。端柱通常采用组合工字形开放性结构，防腐面积基本没有重叠区，但板件相对于面板系来说通常稍厚。由于三角闸门重心位置远离支承中心，在面板附近设有浮箱，可有效地减少门头在水中的下垂量，因此大中型三角闸门中浮箱必不可少。三角闸门浮箱的防腐同人字闸门，防腐面积仅算浮箱外侧。

以某Ⅲ级船闸三角闸门为例，该船闸承受双向水头作用，正向设计水头 2.52 m，反向设计水头-3.27 m，门体结构尺寸为 10.50 m×12.39m-70°（门高×弧面半径-中心角），各部位防腐面积统计情况见表 2。

表 2 三角闸门重叠系数及防腐面积

结构名称	总表面积 <i>A</i> ₀ /m ²	重叠面积 <i>A</i> '/m ²	防腐面积 <i>A</i> /m ²	重叠系数 <i>k</i>
面板	333.96	7.46	326.49	0.98
纵横梁	276.46	9.73	266.73	0.96
次梁	148.87	7.98	140.88	0.95
浮箱	253.40	177.03	76.38	0.30
主支臂	89.86	47.73	42.13	0.47
斜支臂	83.33	42.35	40.97	0.49
联系杆	406.78	203.39	203.39	0.50
球节点	40.26	22.59	17.67	0.44
杆系肋	26.60	0.00	26.60	1.00
端柱	170.04	0.00	170.04	1.00
防撞系	286.48	19.44	267.05	0.93
合计	2066.05	537.70	1528.35	0.74

注：①该三角闸门网架结构采用钢管球节点；
 ②中、边羊角纳入纵横梁统计。管件的平均板厚均小于壁厚。

从表 2 中可以看出，三角闸门重叠区主要集中在联系杆、主支臂、斜支臂等钢管内部及浮箱内部。因型钢节点板结构重叠较少，而小型门体（通常采用钢管球节点）不设置浮箱，统计分析后得三角闸门重叠系数范围为 0.70~0.85；设置浮箱的管球结构重叠系数可取 0.75，不设置浮箱的型钢结构重叠系数可取 0.85，小型不设置浮箱结构重叠系数可取 0.80。

3.3 横拉闸门

横拉闸门主要由门体结构、支承系统、轨道装置、推拉牵引装置、止水及缓冲装置等部分组成，门体结构包括面板系、主横梁、竖向联结系、端桁架、浮箱、工作桥及踏步等几部分。

横拉闸门常见门体剖面结构有矩形、梯形、三角形^[8]等，以矩形结构居多；面板有单面板和双面板两种，以双面板结构居多；面板与主梁弦杆相连，纵向布置有竖直次梁，水平向在主横梁之间布置有水平次梁。主横梁采用桁架结构，桁架弦杆通常为方管或型钢组成的封闭截面，内部腹杆通常为型钢组合截面。主梁通过竖向联结系连接，竖向联结系也采用桁架形式，以减小闸门启闭时的水阻力。端桁架刚度较大，端桁架弦杆采用组合工字形结构，并与各道主梁端腹杆及斜向联系杆件共同组成刚度较高的端桁架体系。横拉闸门门体较重，底台车运行工况复杂，通常依托两侧面板在底部 2-3 道主梁之间设置浮箱，以降低门体在水中的重量、延长底台车的使用寿命。

以某Ⅲ级船闸横拉闸门为例，该船闸承受双向水头作用，最大正向设计水头为 8.50 m，最大反向设计水头-1.31 m。门体结构尺寸为 23.65 m×3.854 m×13.7 m（门长×门厚×面板高度），各部位防腐面积统计情况见表 3。

表 3 横拉闸门重叠系数及防腐面积

结构名称	总表面积 A_0/m^2	重叠面积 A''/m^2	防腐面积 A/m^2	重叠系数 k
面板	1294.38	171.78	1122.60	0.87
次梁	481.57	51.69	429.88	0.89
主梁弦杆	721.99	431.41	290.58	0.40
主梁腹杆	689.00	141.28	547.72	0.79
竖向桁架	449.73	107.37	342.36	0.76
浮箱	579.07	420.11	158.95	0.27
工作桥	218.39	13.18	205.22	0.94
吊架	61.01	24.04	36.97	0.61
合计	4495.14	1360.86	3134.28	0.70

注：①该横拉闸门为双面板结构，主梁弦杆采用组合槽钢封闭结构；
 ②中、边羊角纳入纵横梁统计。

从表 3 中可以看出，横拉闸门重叠区主要集中在主梁弦杆内部、浮箱内部及弦杆与面板结合处等。考虑国内早期横拉闸门多为单面板结构，可释放部分重叠面积，统计分析后得横拉闸门重叠系数范围为 0.70~0.85；双面板结构重叠系数可取 0.70，单面板结构重叠系数可取 0.80。

3.4 平面闸阀门

平面闸阀门主要有阀门、升卧门、检修闸门等类型，阀门和升卧门均为实腹式结构，检修闸门按结构形式可分为实腹式叠梁和桁架式叠梁两种。平面闸阀门一般由门体结构、主滚轮（主滑块）、侧滚轮（侧向限位装置）、止水系统等组成，其中门体结构通常包括面板、主横梁、纵梁（横隔板）、次梁、边梁、背拉杆、节点板、止水座等。

以某 II 级船闸平面阀门为例，该船闸承受双向水头作用，最大正向设计水头为 4.50m，最大反向设计水头-1.80 m，廊道孔口尺寸为 3.5 m×3.5 m（高×宽）。门体结构尺寸为 3.62 m×3.66 m×0.4 m（高×宽×厚），各部位防腐面积统计情况见表 4。

表 4 平面阀门重叠系数及防腐面积

结构名称	总表面积 A_0/m^2	重叠面积 A''/m^2	防腐面积 A/m^2	重叠系数 k
面板	25.77	0.00	25.77	1.00
主梁	20.34	1.30	19.03	0.94
横隔板	10.50	0.31	10.19	0.97
边梁	8.95	1.11	7.84	0.88
支承梁	3.63	0.60	3.03	0.83
背拉杆	1.65	0.33	1.31	0.80
节点板	4.65	1.86	2.79	0.60
止水座	4.71	0.00	4.71	1.00
合计	80.18	5.51	74.67	0.93

从表 4 中可以看出，平面阀门重叠区主要集中在门后节点板和背拉杆等处。结合其他几种门型结构形式，统计分析后得平面闸阀门重叠系数范围为 0.85~0.95；平面阀门和升卧门重叠系数可取 0.95，实腹式叠梁门可取 0.90，桁架式叠梁门可取 0.85。

2. 5 弧形闸阀门

弧形闸阀门主要有露顶式和潜孔式两种，露顶式结构多用作闸门进行挡水，潜孔式结构多用作阀门进行输水。弧形闸阀门通常由门体结构、止水系统、支铰等部件组成，其中门体结构包括面板、主横梁、主纵梁、次梁、支臂等。

主横梁通常采用具有前翼缘的组合工字形截面，次梁采用槽钢。门体防腐时，不需要防腐的区域主要集中在面板区，主梁前翼缘及次梁与面板重叠部分。当支臂采用组合工字形截面，无重叠区；当支臂采用管形结构时，其内部和两端连接板部分存在重叠。

以某水库弧形阀门为例，最大设计水头为 52.0 m，输水洞口尺寸为 2.0 m×1.25 m（宽×高）。门体结构各部位防腐面积统计情况见表 5。

表 5 弧形阀门重叠系数及防腐面积

结构名称	总表面积 A_0/m^2	重叠面积 A''/m^2	防腐面积 A/m^2	重叠系数 k
面板	7.94	0.98	6.96	0.88
主横梁	2.71	0.68	2.03	0.75
纵梁	6.00	0.00	6.00	1.00
次梁	2.81	0.30	2.50	0.89
起吊座	1.29	0.33	0.96	0.74
主支臂	11.22	0.00	11.22	1.00
联系杆	4.59	0.00	4.59	1.00
连接座	3.87	0.00	3.87	1.00
其他	0.84	0.00	0.84	1.00
合计	41.26	2.29	38.97	0.94

从表 5 中可以看出，弧形阀门重叠区主要集中在面板与主横梁及次梁的结合处。结合国内大孔口露顶式弧形闸门，统计分析后得弧形闸阀门重叠系数范围为 0.92~0.96；露顶式弧形闸门可取 0.95，潜孔式弧形阀门可取 0.93。

2.6 拦污栅及其他结构

拦污栅主要由栅条、主梁、隔板、边柱、连接板等部件组成。因为栅面过流的特殊要求，拦污栅各构件多顺水流方向布置，且构件之间均通过板壳断面进行连接，除支承板外几无重叠，故其重叠系数可取 0.99。

其他水工金属结构，可根据自身结构特征，按部件拆解进行分析，并参照闸阀门及拦污栅，估算出各自的重叠系数。

4 算例分析

根据工程实例，结合各自门型特征，将人字闸门分为有浮箱和无浮箱 2 种，将三角闸门分为管球结构、型钢结构和小型无浮箱 3 种，将横拉闸门分为单面板和双面板 2 种，将平面闸阀门分为平面阀门、提升卧倒门、实腹式叠梁和桁架式叠梁 4 种，将弧形闸阀门分为露顶式闸门和潜孔式阀门 2 种；同时，将上文算得的重叠系数分别代入检验。不同水工金属结构重叠系数及防腐面积检验结果详见表 6。

表 6 不同水工金属结构重叠系数及防腐面积

名称	结构特征	工程位置	结构尺寸 /m	设计水头 /m	重叠 系数 k	结构质量 m/t	平均板厚 δ/mm	公式防腐 面积 A/m^2	实际防腐 面积 A'/m^2	计算误 差/%
人字 闸门	有浮箱	高良涧船闸	11.48×13.584×1.4	6.00	0.80	62.38	11.9	1068.41	1087.52	-1.76
	无浮箱	马湾船闸	15.28×10.824×1.2	9.92	0.90	61.96	11.2	1273.46	1249.44	1.92
三角 闸门	管球结构	九圩港二线船闸	11.10×12.39-70°	-3.68~4.51	0.75	92.59	10.9	1619.12	1615.79	0.21
	型钢结构	施桥三线船闸	13.25×12.39-70°	-2.86~6.19	0.85	126.95	11.3	2439.54	2462.73	-0.94
	小型无浮箱	舟山凤凰湾船闸	7.70×6.64-70°	-3.06~2.08	0.80	24.67	10.5	478.08	469.25	1.88
横拉 闸门	单面板	邵伯一线船闸	11.54×20.7×3.5	-1.80~4.50	0.80	105.00	8.5	2517.80	2550.00	-1.26
	双面板	芒稻改建船闸	8.6×23.65×3.854	-1.31~8.50	0.70	120.67	11.0	1954.93	1918.74	1.89
平面 闸阀门	平面阀门	杨林船闸	3.12×3.80×0.4	-3.27~2.52	0.95	2.81	10.0	67.92	67.09	1.24
	提升卧倒门	新团船闸	7.4×17.94×1.6	1.18	0.95	31.26	11.1	680.06	680.29	-0.03
	实腹式叠梁	下坝复线船闸	1.4×24.14×2.5	9.43	0.90	25.92	13.3	448.47	440.41	1.83
	桁架式叠梁	下坝复线船闸	2.0×24.14×2.5	9.43	0.85	22.96	12.1	411.81	415.55	-0.90
弧形 闸阀门	露顶式闸门	北京怀柔水库	12×6.3	6.0	0.95	17.70	10.4	413.09	410.77	0.57
	潜孔式阀门	新疆红岩水库	1.5×1.5	34.59	0.93	1.86	12.1	36.46	36.36	0.26
拦污栅	平面直立式	孟洲坝二线船闸	4.04×2.9×0.35	4	0.99	2.05	10.9	47.44	47.15	0.61

注：①表中钢管球节点和型钢节点板三角闸门均设置浮箱，小型无浮箱三角闸门采用钢管球节点结构；

②设计水头中，负值为反向水位差。

从表 6 中可以看出：闸阀门各门型及拦污栅的防腐面积公式计算值与实际值误差均小于 2%，满足工程设计要求，其重叠系数取值相对合理。

5 结论

通过对水工金属结构防腐面积计算公式理论推导，结合闸阀门及拦污栅等具体结构分部件计算分析，并进行工程实例检验，得出如下结论：

（1）防腐面积公式 $A=2km/\rho\delta$ ，在水工钢结构计算中具有较高准确性，误差可控制在 2%以内，满足工程设计要求；

（2）防腐面积计算公式中的重叠系数 k ，人字闸门设置浮箱时可取 0.8，不设浮箱时可取 0.9；三角闸门采用管球结构时可取 0.75，采用型钢结构时可取 0.85，小型不设置浮箱门体可取 0.8；横拉闸门单面板结构可取 0.80，双面板结构可取 0.70；平面阀门和提升卧倒门可取 0.95，实腹式叠梁门可取 0.90，桁架式叠梁门可取 0.85；露顶式弧形闸门可取 0.95，潜孔式弧形阀门可取 0.93；拦污栅可取 0.99。

（3）防腐面积计算公式中的平均板厚 δ ，板厚规格相对集中时，可采用以分厚度板件的总质量作为该板厚的权重进行加权计算，计算误差范围较小。

（4）防腐面积计算公式具有通用性，不局限于水工金属结构行业，当运用至其他行业计算构件防腐面积时，应根据构件的特征重新计算构件质量、密度、重叠系数及平均板厚。

（5）本防腐面积计算公式以金属板材为基础，当构件长宽高相当时计算误差较大，本公式不宜采用。

参考文献

[1] 陈刚, 刘明维, 张小龙, 等. 内河钢构件防腐现状及存在问题分析 [J], 中国港湾建设, 2015, 35(1): 12-15
[2] 杨华, 叶兰华, 张汉君. 弧形钢闸门防腐面积经验公式[J], 江苏水利, 2001(11): 39.
[3] 范崇仁. 水工钢结构设计[M]. 北京: 中国水利电力出版社. 2000.
[4] 刘孟穆. 船闸人字闸门设计[M]. 北京: 中国水利水电出版社. 2007.
[5] 邢述炳, 黄琰, 朱召泉. 船闸人字闸门浮箱的设置方法[J], 水运工程, 2016(8): 112-118.
[6] 邢述炳, 丁峰. 人字闸门背拉杆的结构特性分析[J], 水运工程, 2016(11): 157-161,178.
[7] 邢述炳, 戴振华. 邵伯三线船闸闸门设计[J], 交通科技, 2012(6): 64-67.

- [8] 董政, 王晓东, 刘远林. 大跨度自稳式横拉钢闸门的应用 [J], 中国港湾建设, 2015, 35(11): 102-105

水利工程专用食品级润滑脂的研发及应用

包锐，董禄虎，曹树林，古小七，张军，储友双

摘要：针对水利工程启闭机的工况特点和环保要求，研制开发了适用于水利工程启闭机的专用食品级润滑脂。通过理化分析、三方检测及现场工地试验表明，应用研制的水利工程专用食品级润滑脂，满足水利工程启闭机的润滑需要，同时能够达到食品级等要求，极大改善了目前水利工程用润滑脂的现状。
关键词：水利工程；启闭机；钢丝绳；轴承；润滑脂；食品级

1 前言

水利工程是用于控制和调配自然界的地表水和地下水，防止洪涝灾害，并进行水量的调节和分配，满足人民生活和生产对水资源的需要，达到除害兴利的目的而修建的工程。水利工程需要修建坝、堤、溢洪道、水闸、进水口、渠道、渡槽、筏道、鱼道不同类型的水工建筑物，以实现其目标，其中水闸是关键工程。水闸是修建在河道和渠道上利用闸门控制流量和调节水位的水工建筑物。水闸是通过启闭机及其附属设备的正常运行来实现闸门开启和关闭功能的，它是水闸工程的控制组件^[1]，而要使启闭机处于良好的工作状态，润滑^[2]工作是很重要的一环。启闭机可分为移动式启闭机和固定式启闭机。大型水利工程使用的启闭机，润滑要求更高。移动式启闭机常见的有台车式和门型式，其主要用脂主要部位是启闭机钢丝绳、卷筒轴承和运动平车轴承等，见图 1。

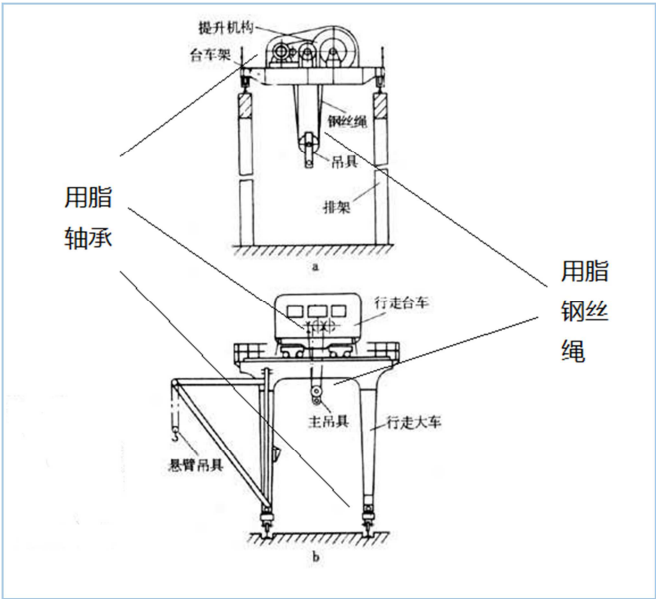


图 1 移动式启闭机及用脂示意图

目前，我国对饮用水水源污染防治问题高度关注。《中华人民共和国水污染防治法》、《饮用水水源保护区污染防治管理规定》、《生活饮用水水质卫生规范》、《生活饮用水检验规范》等法律法规文件对饮用水水源保护区的管理及水中有害物质种类、限值等做出了明确规定。在水利工程中使用工业级润滑脂，将引发水体污染，不符合相关法规及国家可持续发展战略要求。

水利工程中启闭机钢丝绳暴露于户外，且长期与水接触，这就造成了钢丝绳工作过程中高湿、工作温度随季节变化明显、重负荷等工况特点^[3]。因此，水利工程启闭机钢丝绳上使用的润滑脂应具备良好的抗水性、防锈性、抗磨性、低温性，同时对水体无污染。

水利工程在我国南北方各地均有分布，在冬夏季温差较大，因此要求轴承所用润滑脂具有良好的耐高低温性；启闭机处于水源周围，因此要求轴承所用润滑脂具有良好抗水性和防锈性；由于水利工程启闭机大小不一，大型水利工程的启闭机设备庞大，其轴承承载负荷较高，因此要求轴承所用润滑脂具有良好的极压抗磨性。

2 国内外概况

钢丝绳表面脂按其成分类型可分为烃基型、沥青型和皂基型润滑脂等不同类型。早期研制的钢丝绳表面脂为烃基润滑脂,一般采用废旧石蜡、地蜡制备,滴点较低,温度在 45~55℃左右。夏天阳光照射容易造成表面脂融化、流淌,冬季则因为气温低出现润滑脂的龟裂和脱落,并且此种钢丝绳表面脂的用量较大,给施工人员、施工现场带来油污污染,给生产作业带来诸多不便。一些学者尝试在烃基润滑脂的基础脂中加入高分子聚合物、粘度调节剂等添加剂改善表面脂的粘附性、高低温性能,并取得了一定成效。

沥青型表面脂桶膨润土一样无滴点,必须加热或者加入稀释溶剂后使用,涂覆后固化容易形成黑色的坚硬表面,检查很不方便,但其粘附性好,适用于长期储存钢丝绳,低温下容易龟裂、破碎,主要用于炼钢厂。

皂基型润滑脂通常具有半流体的柔韧性,但只能部分渗透入钢丝绳内部,不能使得绳芯得到充分润滑,适用于固定不动或在潮湿、海风、烟气等环境下以及低速重载吊装用钢丝绳缆索的润滑,其优点是滴点高、高温性能好^[4]。

启闭机轴承常用的润滑脂为通用锂基脂或工程机械专用脂等,这些产品稠度一般为 2 号或 3 号,基础油为普通低端矿物油,由于目前锂资源价格昂贵,这些产品虽然名称写的是锂基脂,实际上并非是全锂基脂,滴点通常低于 150℃,耐高温性较差。这些产品低温性较差,在冬天较冷的时候会导致设备启动困难。

目前水利工程中启闭机上使用的润滑脂多数为工业级别,以南水北调工程为例,在河北、河南和山东等地的启闭机上使用的是当地润滑脂厂生产的所谓通用锂基脂或工程机械专业脂等工业级的润滑脂产品,这些产品由于是非食品级润滑脂,其中可能含有重金属、芳香烃等致癌物质。钢丝绳用脂在涂抹时,以及在钢丝绳工作过程中,绳体上附着多余油脂也会掉入水中;轴承用脂在加注时或工作时易从轴承部位挤出,会掉入水中,从而造成当地和下游水环境污染,给相关地区居民生活和工农业生产带来危害^[5]。

针对以上情况,中国石化润滑油有限公司天津分公司和水利部水工金属结构质量检验检测中心合作,研制出适用于水利工程设备上使用的食品级润滑脂,解决常规润滑脂带来的水体污染问题,并具有优良的抗水性、高低温性、防锈性和极压抗磨性能等。本产品为国内首次针对水利工程启闭机开发的专用食品级润滑脂,在提高饮用水水质安全、保障设备安全运行上有创新性突破,显著降低了润滑脂对水源的污染,符合当前水利部提出的“科教兴水”和“可持续发展战略”,具有重大战略意义。

3 水利工程专用食品级润滑脂的研制

3.1 研制目标

3.1.1 水利工程专用钢丝绳表面润滑脂研制目标

传统钢丝绳润滑脂是由有机类稠化剂稠化高粘度精制矿油,并加有抗氧化、防腐蚀、防锈蚀、抗极压等多种添加剂精制而成。石化行业标准 SH/T 0387-1992 规定了钢丝绳表面润滑脂的一般性能标准,行标规定的钢丝绳表面脂滴点偏低,并且规定的低温性能的温度较高,不能满足水利工程分布在我国南北方各地,在冬夏季温差较大的润滑要求,同时并未对产品的重金属、毒理学及涉水试验进行相关规定。针对现有技术的不足,研制出适用于水利工程专用食品级钢丝绳表面润滑脂,解决常规润滑脂带来的水体污染问题并具有优异的高低温性能、抗水性、防锈性、粘附性;同时,在低温条件下具有很好的润滑作用。此外,为了保证饮用水安全,防止润滑脂掉入水中造成的水体污染,研制的润滑脂还需通过第三方权威机构的重金属检测、毒理学、涉水试验等测试,确保饮用水不会受到污染。综上所述,制定水利工程用食品级钢丝绳表面润滑脂的技术目标及与行标的对比,见表 1。

表 1 钢丝绳表面脂行业标准及本产品技术指标			
项目	行业标准	本产品技术指标	试验方法
外观	褐色至深褐色均匀油膏	浅黄色至白色均匀油膏	目测
工作锥入度/0.1mm	无规定	220~295	GB/T 269
滴点℃不低于	58	260	SH/T 0115
防腐蚀性（52℃，48h，蒸馏水）	合格	合格	GB/T 5018
盐雾试验（45 号钢，7 天）	实测	A	SH/T 0081
低温性能（-30℃，30min）	合格	合格	附录 B
滑落实验（80℃，1h）	实测	合格	附录 A
卫生安全性能	无规定	食品级润滑脂	-
饮用水安全性能	无规定	对饮用水无害	-

3.1.2 水利工程专用食品级轴承润滑脂研制目标

通过对水利工程行业特别是南水北调工程的调研，了解了水利工程行业典型设备启闭机的工况特点及其当前用脂情况。其用脂要求如下：由于水利工程在我国南北方各地均有分布，在冬夏季温差较大，因此要求轴承所用润滑脂具有良好的耐高低温性；由于启闭机处于水源周围，因此要求轴承所用润滑脂具有更好的抗水性和防锈性；由于水利工程启闭机大小不一，大型水利工程的启闭机设备庞大，其轴承承载负荷较高，因此要求轴承所用润滑脂具有良好的极压抗磨性。此外，为了保证饮用水安全，防止润滑脂掉入水中造成的水体污染，研制的润滑脂还需通过第三方权威机构的重金属检测、毒理学、涉水试验等测试。针对以上用脂要求，并结合对现用脂的性能分析，制定了水利工程专用食品级轴承润滑脂的技术指标，具体见表 2。

表 2 水利工程专用食品级轴承润滑脂的技术指标		
项目	质量指标（NLGI 2 号）	试验方法
工作锥入度/（0.1mm）	265~295	GB/T 269
滴点/℃	≥260	GB/T 3498
防腐蚀性（52℃，48 h，蒸馏水）	合格	GB/T 5018
盐雾试验（45 号钢，7 d）/级	≥A	SH/T 0081
极压性能（四球机法）烧结负荷 P_D /N	≥1961	SH/T 0202
抗磨性能磨斑直径 D /mm	≤0.6	SH/T 0204
卫生安全性能	食品级润滑脂	-
饮用水安全性能	对饮用水无害	-

3.2 水利工程专用食品级润滑脂基本性能参数及安全性能

3.2.1 水利工程专用食品级润滑脂理化性能

水利工程专用食品级润滑脂经过相关指标检测，制成的润滑脂完全能够满足我们制定的所有技术指标要求。食品级润滑脂脂与其他同部位在用润滑脂基本性能比较如表 3、表 4 所示。

表 3 水利工程专用食品级钢丝绳表面脂理化性能及比较

项目	食品级钢丝绳脂	在用样品 1	在用样品 2	在用样品 3	在用样品 4	试验方法
工作锥入度，0.1mm	275	235	287	226	293	GB/T 269
滴点，℃	279	126	137	120	125	GB/T 3498
防腐蚀性（52℃，48h，蒸馏水）	合格	不合格	不合格	不合格	不合格	GB/T 5018
盐雾试验（45 号钢，7 天）	A	C	C	C	C	SH/T 0081
低温性能（-40℃，30min）	合格	不合格	不合格	不合格	不合格	SH/T 0387 附录 B
滑落实验（80℃，1h）	合格	不合格	不合格	不合格	不合格	SH/T 0387 附录 A

使用温度范围	-40~120℃	-20~80℃	-20~80℃	-20~80℃	-20~80℃	——
--------	----------	---------	---------	---------	---------	----

通过表 3 对水利工程常用的润滑脂与食品级钢丝绳脂按照产品标准进行实验后对比发现:

1) 高低温性能: 水利工程专用食品级钢丝绳表面润滑脂滴点能够达到 279℃, 与现用产品相比具有优异的高温性能, 此外能够通过-40℃下低温测试, 因此具有良好的高低温性能, 满足启闭机钢丝绳的温度要求。

2) 防护性能: 水利工程专用食品级钢丝绳表面润滑脂能够通过防腐蚀实验、盐雾实验, 能够有效防止钢丝绳在恶劣工况下及多水环境中的锈蚀, 延长钢丝绳使用寿命。同时, 该产品通过高温下的滑落实验, 保证润滑脂在夏季高温光照环境下不跌落水中, 避免润滑失效及造成水资源污染。

表 4 水利工程专用食品级轴承润滑脂理化性能及比较

项目	食品级轴承脂	在用样品 1	在用样品 2	在用样品 3	在用样品 4	试验方法
锥入度, 0.1mm	267	235	287	226	293	GB/T 269
滴点, °C	302	126	137	120	125	GB/T 3498
防腐蚀性 (52℃, 48h, 蒸馏水)	合格	不合格	不合格	不合格	不合格	GB/T 5018
盐雾试验 (45 号钢, 7 天)	A	C	C	C	C	SH/T 0081
极压性能(四球法)烧结负荷(P _D 值), N	2452	1569	2452	1961	1961	SH/T 0202
抗磨性能 (磨斑直径), mm	0.42	0.65	0.55	0.60	0.60	SH/T 0204

通过表 4 对水利工程常见的轴承用脂与食品级轴承脂的分析数据对比可知:

1) 耐高温性方面: 食品级轴承脂采用耐高温食品级复合铝稠化剂食品级合成油精制而成, 滴点大于 260℃, 耐高温性优良, 使用温度可达 160℃。而目前水利工程常见的轴承用脂虽说名称为锂基脂, 但其滴点均小于 150℃, 而锂基脂滴点通常大于 170℃, 故实际上并非是锂基脂, 耐高温性较差, 使用温度一般在 80℃以下。因此, 食品级轴承脂的耐高温性远优于当前现用的常规工业润滑脂产品。

2) 防护性能方面: 由上表可知, 食品级轴承脂在防腐蚀试验 (轴承防锈) 和盐雾试验 (钢片防锈) 中均合格, 能够有效保护轴承, 防止轴承受水的影响而导致锈蚀。而现用的常规工业润滑脂产品, 性能一般, 防腐蚀性和盐雾试验结果均不合格, 说明其使用过程中存在导致轴承生锈的风险。由此可知, 食品级轴承脂的防护性能也优于当前现用的常规工业润滑脂产品。

3) 极压抗磨性方面: 由上表可知, 食品级轴承脂的极压抗磨性优于多数当前现用的常规工业润滑脂产品, 只有个别产品极压性与食品级轴承脂相当。

3.2.2 水利工程专用食品级润滑脂安全性能分析

通过对制备的样品送往三方权威机构进行理化性能、盐雾实验、重金属检测、毒理学、涉水试验等测试, 食品级润滑脂均通过测试, 满足水利工程启闭机润滑需要, 同时能够满足环食品级要求, 极大改善了目前水利工程启闭机用脂混乱的现状。三方权威机构所出具的检测报告节选如图 2 所示。其中毒理学报告见附件。



图 2 三方权威机构检验报告 (节选)

4 水利工程专用食品级钢丝绳表面脂工地试验

水利工程专用食品级润滑脂在第三方实验室完成检测合格基础上，为了进一步验证水利工程专用食品级润滑脂的可靠性、安全性和实用性，目前暂时选择了两个工地进行现场试验，均是国家优化配置水资源的重大战略性基础设施。因此本次实验具有显著的代表意义，有利于产品的推广。实验工地现场见图 3。



图 3 产品测试的工地现场

本次进行工地现场试验的目的主要考核水利工程专用食品级润滑脂的可靠性、安全性、实用性、附着性、抗高温性以及抗水性。本次工地现场试验的方法包括：食品级钢丝绳脂主要考察现场装脂后在长时间日照条件下有无变软流失、有无干结，冬季低温条件下有无变硬现象，在水中浸泡后有无乳化流失现象等。食品级轴承脂主要考察有无漏脂，轴承运转情况，有无异响等。

经过 8 月至 12 月份的现场试验，试验周期包括夏天及冬天的极端天气，通过对启闭机进行负载作业及静置考察，同时对暴露在空气中及浸入水中的钢丝绳部位进行跟踪检测。水利工程专用食品级钢丝绳润滑脂在试验过程中，在钢丝绳上油脂丰富，粘附性好，流失现象少，无遇水乳化现象；应用部位轴承润滑状态良好，设备运转正常，轴承缝隙无脂流失现象，润滑效果良好，可以满足水利工程启闭机特别是大型门机的运转要求，使用效果已经远远超过目前使用的竞品，得到了现场维护人员的认可。产品实验效果见图 4。



图 4 产品现场测试情况

5 结论

1.研制的水利工程专用食品级钢丝绳表面润滑脂具有优异的高低温性能,在-40℃低温下不脆裂,同时具有较高的滴点,能够满足-40℃~120℃范围的使用要求;水利工程专用食品级钢丝绳表面润滑脂具有优异的抗水性、防锈性、粘附性,能够保证润滑脂不被水冲刷掉而失去润滑效果,同时确保钢丝绳在恶劣环境中不被锈蚀,有效保护绳芯和钢丝,延长钢丝绳使用寿命。

2.研制的水利工程专用食品级启闭机轴承润滑脂具有优异的高低温性能,在-40℃低温下轴承起动运转良好,同时具有较高的滴点,能够满足-40℃~160℃范围的使用要求;水利工程专用食品级启闭机轴承润滑脂具有优异的抗水性、防锈性,能对轴承起到很好的防护作用,同时具备优良的极压抗磨性,可应用于大型启闭机轴承部位。

3.水利工程专用食品级润滑脂通过第三方重金属测试、毒理学测试及饮用水浸泡测试,所测指标均达到标准,确保对水体无污染。

4.水利工程专用食品级钢丝绳润滑脂在试验过程中,经过在户外及水下长时间考察,在钢丝绳上油脂丰富,粘附性好,流失现象少,无遇水乳化现象;水利工程专用食品级启闭机轴承润滑脂在水利工程工地现场试验过程中,经过在户外及水面上方的长时间考察,产品润滑防护效果良好。两种润滑脂使用效果得到了现场维护人员的认可,据现场设备润滑管理人员确认,使用效果已经远远超过目前使用的竞品;

5.国内首次针对水利工程钢丝绳开发专用食品级润滑脂,在提高饮用水质安全、保障设备安全运行上有创新性突破,显著降低了润滑脂对水源的污染。同时产品具有显著的经济效益和社会效益,符合当前水利部提出的“科教兴水”和“可持续发展战略”,具有重大战略意义。

参考文献

- [1] 李怀玉.闸门启闭机运行与管理[J].河南水利与南水北调,2014,(24):55-56
- [2] 孙博.水库闸门设备润滑问题浅析[C].辽宁省水利学会 2011 年学术年会论文集, 2011:263-264
- [3] 赵文军,陈利,罗芳贵.启闭机钢丝绳的选用与维护.人民长江[J],2011,(23):54~57
- [4] 田科奇,韦逊,吴文革.我国钢丝绳表面脂发展现状.石油商技[J],2011,(06):40~42
- [5] 谭功.水利水电施工中水污染事故及其防治措施.中国三峡[J],2008,(01):63~64

附安全性能报告节选



测试报告

No: GZCPCH170602010

报告日期: 2017-07-21

客户名称: 中国石化润滑油有限公司天津分公司
 客户地址: 天津市滨海新区汉沽化工街5号
 样品名称: 水利工程专用食品级钢丝绳表面润滑脂
 批号/生产日期: /
 生产商: /

以上样品及信息由客户提供及确认, SGS 不承担证实客户提供信息的准确性、适当性和(或)完整性责任。

SGS 工作号: GZCPCH170602010
 SGS 参考号: TP17-004457
 样品接收日期: 2017-06-29
 样品测试时间: 2017-06-29~2017-07-21

测试要求:

根据申请者要求:
 请见下页

测试方法:

请见下页

测试结果:

请见下页

结论:

所送样品制备的受试物急性经口毒性 $LD_{50} > 10000 \text{ mg/kg}$ 体重, 根据 GB 15193.3-2014《急性毒性试验》的急性毒性分级标准, 属实际无毒级物质。

除非另有说明, 本检验结果仅对测试样负责。未经检验机构同意, 委托人不得擅自使用检验结果进行不当宣传。

SGS 授权签字人:



Harriet Zhong 钟海英

通标准技术服务有限公司广州分公司
 第 1 页 共 3 页

RAND: 8214513



Unless otherwise agreed in writing, this document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at <http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx> and, for electronic format documents, subject to Terms and Conditions for Electronic Documents at <http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions/Terms-and-Conditions-for-Electronic-Format-Documents.aspx>. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested.

Attention: To check the authenticity of testing / inspection report & certificate, please contact us at telephone: (86-755) 8397 1443, or email: CN_Consult@sgs.com

SGS-CSTC Guangzhou Branch, Ltd.
 188 Kechu Road, Science Park Guangzhou Economic & Technology Development District, Guangzhou, China 510663 T (86-20) 8215 5273 F (86-20) 8207 5198 www.sgs.com.cn
 中国·广州·经济技术开发区科学城科珠路188号 邮编: 510663 T (86-20) 8215 5273 F (86-20) 8207 5198 e sgs.china@sgs.com

Member of the SGS Group (SGS SA)

水利工程专用食品级钢丝绳表面润滑脂毒理学报告 (结论部分)



测试报告

No: GZCPCH170602011

报告日期: 2017-07-21

客户名称: 中国石化润滑油有限公司天津分公司
客户地址: 天津市滨海新区汉沽化工街 5 号

样品名称: 水利工程专用食品级轴承润滑脂
批号/生产日期: /
生产商: /

以上样品及信息由客户提供及确认, SGS 不承担证实客户提供信息的准确性、适当性和(或)完整性责任。

SGS 工作号: GZCPCH170602010
SGS 参考号: TP17-004455
样品接收日期: 2017-06-29
样品测试时间: 2017-06-29~2017-07-21

测试要求:
根据申请者要求:
请见下页

测试方法:
请见下页

测试结果:
请见下页

结论:
所送样品制备的受试物急性经口毒性 $LD_{50} > 10000 \text{ mg/kg}$ 体重, 根据 GB 15193.3-2014《急性毒性试验》的急性毒性分级标准, 属实际无毒级物质。

除非另有说明, 本检验结果仅对测试样负责。未经检验机构同意, 委托人不得擅自使用检验结果进行不当宣传。

SGS 授权签字人:



Harriet Zhong 钟海英

通标准技术服务有限公司广州分公司
第 1 页 共 3 页

RAND: 8194813



SGS-CSTC 通标准技术服务有限公司
Guangzhou Branch Testing Center, Tissue Care & Health

Unless otherwise agreed in writing, this document is issued by the Company subject to its General Conditions of Service printed overleaf, available on request or accessible at <http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions.aspx> and, for electronic formal documents, subject to Terms and Conditions for Electronic Documents at <http://www.sgs.com/en/Terms-and-Conditions/Terms-e-Documents.aspx>. Attention is drawn to the limitation of liability, indemnification and jurisdiction issues defined therein. Any holder of this document is advised that information contained hereon reflects the Company's findings at the time of its intervention only and within the limits of Client's instructions, if any. The Company's sole responsibility is to its Client and this document does not exonerate parties to a transaction from exercising all their rights and obligations under the transaction documents. This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the Company. Any unauthorized alteration, forgery or falsification of the content or appearance of this document is unlawful and offenders may be prosecuted to the fullest extent of the law. Unless otherwise stated the results shown in this test report refer only to the sample(s) tested.

Attention: To check the authenticity of testing / inspection report & certificate, please contact us at telephone: (86-755) 8307 1443, or email: CN-Discheck@sgs.com

198 Kietu Road, Sanchai-Pei Guangzhou Economic & Technology Development District, Guangzhou, China 510663 T (86-20) 8215 5273 F (86-20) 8207 5198 www.sgs.com.cn
中国·广州·经济技术开发区科学城科捷路198号 邮编: 510663 T (86-20) 8215 5273 F (86-20) 8207 5198 e sgs.china@sgs.com

Member of the SGS Group (SGS SA)