

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2019.01.021

水利钢闸门数字化设计新技术研究及应用

贾仕开

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘要: 在已有研究工作的基础上,以 CATIA 作为数字化设计平台,从钢闸门的组成分类、总体技术路线、建模方法、关键工作四大方面阐述了钢闸门数字化设计技术,为实现钢闸门数字化设计提供可靠依据;其次,结合实际工程对该技术进行了设备资源库建设、工程图表达的应用,验证了“钢闸门 + BIM 技术”的实践效果;最后总结了 BIM 技术应用于钢闸门设计的思路和前景。

关键词: BIM 技术;水利钢闸门;数字化设计;CATIA 平台

中图分类号: TV663+.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2019)01-0119-06

Research and Application of New Technology for Digital Design of Hydraulic Steel Gate

JIA Shikai

(Power China Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu, Sichuan 610072, China)

Abstract: Based on the existing research, this paper takes CATIA as the digital design platform to elaborate the digital design technology of steel gate from four aspects: composition classification, overall technical route, modeling method and key work of steel gate, and provide reliable basis for the realization of digital design of steel gate. Then combined with the actual engineering, the application of the technology in the construction of equipment resource database and the expression of engineering drawings is carried out to verify the practical effect of “steel gate + BIM technology”. Finally, the ideas and prospects of BIM technology applied to steel gate design are summarized.

Keywords: BIM technology; hydraulic steel gate; digital design; CATIA platform

BIM(Building Information Modeling)是在计算机辅助设计等技术基础上发展起来的多维模型信息集成技术^[1],可对建筑物物理特征和功能特性信息实现数字化承载与可视化表达^[2]。自 BIM 技术引入我国建筑业已有近十五年的发展^[3],由于其具有可视化、虚拟化、协调管理、成本和进度控制等特点,能极大地提升工程决策、规划、设计、施工和运营管理水平,减少返工浪费,有效缩短工期,提高工程质量和投资效益,因而在工程建设全生命周期内被广泛推广应用^[4]。水利行业由于规模大、专业多、结构复杂、标准化程度低、建设周期长等特点^[5],BIM 技术各阶段的应用目前还只处于探索过渡阶段^[6]。

水利金属结构是水利工程的重要组成部分,担负着工程发挥兴利除害功能的控制任务,在水利工

程建设过程中受客观主体建筑结构的制约,且具有构造复杂、设计图纸量任务大、后期运维难度大的特点^[7]。其生产设计一直存在低效率、高投入现象^[8],主要原因一方面是由于设计方案可施工性存在问题,导致频繁的设计变更,而传统的计算工具、设计方法及出图模式比较落后,难以实现自动化,变更工作费时费力,且极易出错^[9];另一方面传统以文档、图纸为媒介传递信息的方式,信息较为分散,不利于各种信息的整合协同交流,进而易出现信息孤岛,造成投入资源的浪费^[10]。借助 BIM 等数字化技术的应用,是实现水利金属结构设计高效化、资源集约化的重要手段之一。

钢闸门作为一种典型的水利金属结构,被广泛应用于各型水利工程中,常用来调节上游水位和控

收稿日期:2018-09-20

修稿日期:2018-10-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51179164);国家科技支撑计划资助项目(2012BAD10B02)

作者简介:贾仕开(1973—),男,四川万源人,工学硕士,高级工程师,主要从事水利金属结构设计工作。E-mail: 2290560515@qq.com

制下泄流量,运行状态在一定程度上关系到枢纽自身安全与下游人民生命财产安全^[11]。目前,由于缺乏专业的钢闸门设计软件,其设计仍然停留在 Excel 电子表格完成闸门计算, AutoCAD 软件逐线制图的阶段,相比于同期制造业数字化技术应用水平,已经远远落后^[12]。为突破传统设计模式制约,变革设计方法,尽快实现与工程数字化建设需求接轨,因此亟需研究水工钢闸门数字化设计技术,以提高钢闸门的设计效率、提升水工钢闸门的设计水平、推进水利行业 BIM 深化应用。

CATIA 作为三大主流 BIM 应用平台之一,是一款造型功能十分强大的 CAD 三维软件,拥有参数化、智能化及自动出图等功能,与金属结构专业需求匹配^[13-14]。祁林攀等^[15]、王可等^[16]和杨明松等^[17]学者基于 CATIA 软件在水工金属结构设计中应用均达到了预期提高设计效率的目的,但成果专业性强,限制其实用性、推广性。因此本文基于 CATIA 软件平台,结合水工钢闸门组成及特点,探究水工钢闸门数字化设计技术,并对其应用效果进行展示,以期为后期流程化钢闸门设计软件开发及钢闸门数字化设计推广提供技术指导。

1 钢闸门组成与分类

广义上讲,钢闸门主要由门叶、门槽埋件部分及启闭设备三部分组成^[18]。通常门叶(活动部分)作为闸门主体,包括:面板、梁系、支承行走、吊耳,止水等部件,主要用来承受水压力荷载,并将力传递至土建结构;门槽埋件部分是土建结构中的构件,包括孔口的门楣,底坎和支承轨道等,与门叶一起形成止水结构同时为门叶的活动提供导向与定位;启闭设备是用于控制门叶运行的操作机械,常见的使用形式有卷扬式、液压式和螺杆式,包括:动力装置、制动装置、连接装置等。这种按照功能特性的分类传统方式,层级分明,但是不利于三维建模的实施与模型的管理及应用。

从各构件的组成特点来看,均可以看作是由机械标准构件、系列构件、常用构件及板材焊接构件通过一定的连接方式组成。机械标准构件,如:型钢、螺栓、垫圈、螺母、齿轮等;系列构件,如:滑轮、滑块、吊耳、充水阀及同步轴等,由机械设计手册确定主要尺寸;常用构件:止水、水封、爬梯、栏杆等,截面尺寸基本一致;板材焊接构件,如闸门门叶主体、启闭机机架等。这种按照构件组成特点分类的方式,共有特征属性优势明显,为钢闸门核心数据库建设

与参数化建模工作提供了极大的便利。图 1 是典型钢闸门的两种组成分类结构树。

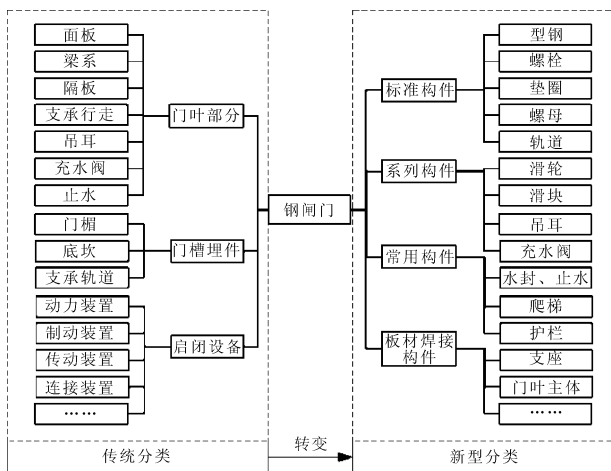


图 1 典型水工钢闸门的组成分类结构树

2 总体技术路线

为实现钢闸门数字化设计的意图,根据其构造特征及设计要求,结合 CATIA 软件平台知识工程系统功能,形成了一套可行的技术路线,具体见图 2。

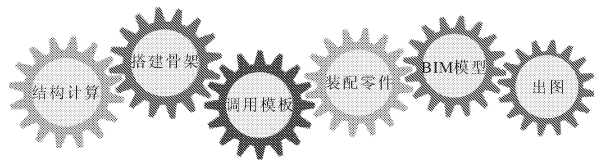


图 2 钢闸门数字化设计技术路线图

钢闸门的数字化设计主要任务是 BIM 虚拟模型的建立,模型大小一般等同原物尺寸,模型精度按照出图的要求进行调整。在模型建立之前,必须要依据设计资料进行钢闸门选型及结构计算,完成主要承载构件及零部件设计任务,得到的设计结果作为接下来模型建立的依据。传统的模型建立是为实现几何信息的可视化展示,所获模型无法与设计进行交互,实用性很有限,也并不能称之为 BIM 模型。BIM 模型应具备可视化、可出图性、参数化性、信息完备等特点。为了能够建立真正的 BIM 模型,实现数字化设计增产,同时尽可能缩短建模的时间成本,故利用 CATIA 软件平台知识工程系统功能结合钢闸门的构造特征,形成特有的“搭建骨架-调用模版数据库-装配零件”建模思路。

具体来讲,骨架是指用作支持建模对象的结构、基础或轮廓的支架,是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^[19]。骨

架参数一旦修改,与之相关联的图元信息、参数等也随之更新。搭建骨架能很方便的控制模型的总体尺寸及布局,亦非常符合设计者的设计思路。调用模版,指的是调用三维基础资源库中的知识工程模版,如:主梁模版、纵梁模版、边梁模版、面板模版、埋件模版、支座模版等,结合骨架发布的定位元素形成板材焊接构件。模版的调用不仅可以避免重复的建模工作,同时也便于知识经验的传承与积累。装配零件即在板材焊接构件模型的基础上,通过将标准构件模型、系列构件模型以及常用构件模型(如定轮、滑块等)按使用功能需求进行约束组装,以形成具有完整功能的钢闸门门叶模型、门槽埋件模型以及启闭设备模型,至此完成主要的几何建模工作。最后在几何模型的基础上加载与汇总完善各类信息,如:材料、设备厂商信息、产品特征信息、工作日志等,形成真正的 BIM 模型,之后可对该模型进一步深入应用,如制备工程图纸,三维动画模拟等。

3 实体模型建模方法

实现数字化设计的关键在于参数化模型的建立,在 CATIA 中建模具有很大的灵活性与自由性,因而面对同样的钢闸门,不同建模人员会构建不同的模型,虽然呈现视图效果可能会一样,但是模型在适用性及实用性方面价值体现却迥异。因此有必要统一并规范化设计建模方法,以达到快速建模及快速更新迭代的目的,最大化呈现模型的价值。

3.1 参数化建模与参数管理

参数化建模方式始终贯穿于整个建模过程中,即通过用实物的特征参数来控制 and 生成实物的三维模型,并且当特征参数变化时能够自动反映到三维模型中,这种建模方式给系列设计及相似设计带来极大的便利。由于水利工程常用钢闸门结构形式较为单一,布置方式较为规则,在承载水头、闸门大小尺寸及启闭容量等方面存在一些差异,因此完全可以利用几套不同参数化模型进行相似设计。此外,钢闸门门叶、埋件设备及启闭设备的组成除板件焊接构件外以系列件、标准件和常用件为主,这一特点也为实现参数化建模提供了有利条件。

在 CATIA 中参数化建模的实现可以采用参数、公式、设计表、规则等手段,均能达到驱动模型变化的目的^[20]。为匹配其使用条件,结合钢闸门各类构件自身的特点,对不同构件选用不同的参数驱动模式。标准构件模型由于尺寸形状早已定型,可通过查表获得,在 CATIA 中可应用设计表换行方式驱动

模型;系列构件模型的类型较多,尺寸在机械设计手册或对应厂商提供技术手册中可获得,可以采用“规则+设计表/参数”驱动模式;常用构件模型由于断面型式较为单一,可以直接采用定义部分用户参数来驱动模型;板材焊接构件模型尺寸关联性强,建立全参数化模型,以参数/公式方式控制驱动模型。

参数化建模为模型的变更设计带来了便利,但也对复杂结构提出了参数管理及识别等问题^[21]。复杂结构如钢闸门门叶部分,层级关系多且结构组成图元关系较为复杂,若把闸门建立为全参数模型,不仅费时费力,还难以梳理各参数之间的关系,在参数变化时很难保证协调;若参数过少则无法实现参数化设计的目的,参数化模型的功能受限。对此,一方面采取“参数+非参数”的建模方式,主抓关键控制尺寸,对于细节尺寸参数改为约束,从而减少参数的总量;另一方面,在建模时养成良好的习惯,规范化各级别参数的命名并做好参数管理表,以提高阅读性及识别性。

3.2 自顶向下的骨架关联设计

产品的设计一般有“自底向上”与“自顶向下”两种思路^[22]。“自底向上”即先设计最底层零件,后设计上级零部件,最后完成装配设计;“自顶向下”设计思路与之相反,可以理解为先设计装配,再做零件详细设计。由于后种思路比较符合人们对新产品的研发思维方式且设计模型便于修改,因此在钢闸门数字化过程中采纳。骨架关联设计是实现“自顶向下”设计过程的重要途径,它是指在 CATIA 中通过使用发布的元素实现部件节点的联结的一种几何建模的方法,被广泛应用于航空领域中^[23]。

按照自顶向下的设计方式,几何体之间、零件之间、装配之间的各种联系呈现为树状结构。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,修改特征数据文件中参数即可对模型实现单向式的驱动。图 3 是骨架模型参数传递路线图。

3.3 实体模型建模关键工作

3.3.1 规划模型装配层级关系

为满足施工设计出图需求、保证三维设计任务的顺利完成,在实体模型建立前,需规划和确定模型装配层级关系,下面以平面钢闸门门叶部分总装配建模为例进行说明。

钢闸门门叶部分由于加工运输及安装要求,通常会以门叶节为单元进行划分,因此可以将门叶节单元看作是总装配的下级子部件,而门叶节单元作为板材焊接构件又由梁系、隔板面板等零件组成。

依据此思路,对闸门门叶依次进行细分,最终形成的装配层级结构树见图 4。特别说明,因建模采用自顶向下的骨架关联设计,故在图 4 中加入特征数据文件作为参数控制的总结点。

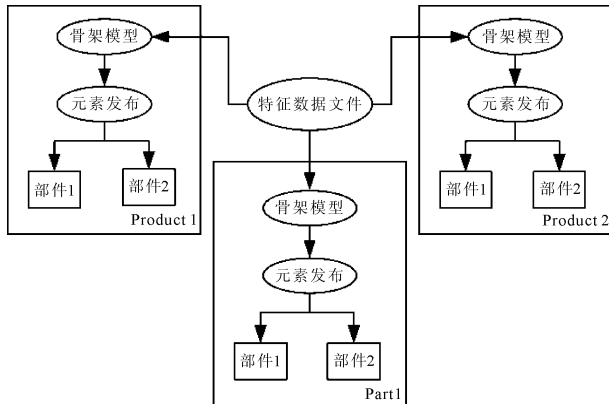


图 3 骨架模型参数传递路线图

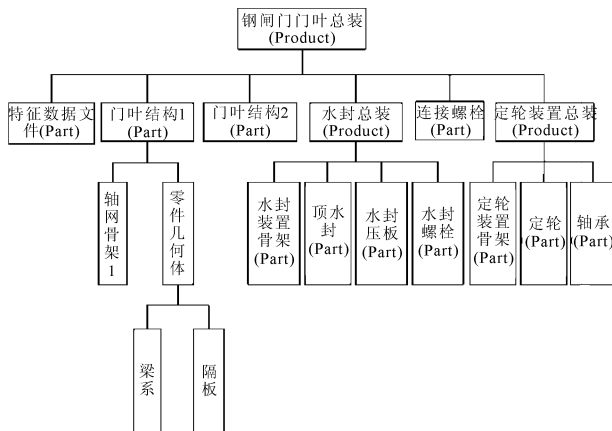


图 4 平面钢闸门门叶装配层级结构树

3.3.2 搭建骨架文件

在装配或零件模型建立的过程中,需要搭建骨架模型,包括基准定位面,定位轴线、定位轮廓等,通过发布及引用定位轮廓点、线、面实现对子集的约束^[24]。在总装配下建立第一个零件文件为特征数据文件,包含骨架模型及各参数集;在子装配或零件中同样需要根据实体几何特征信息建立骨架,并保持参数与特征数据文件中参数链接关系。图 5 是某平面钢闸门门叶节单元建模骨架示意图,通过骨架轴网关系确定门叶节主体几何尺寸及梁系的布置。

3.3.3 筹建基础资源模版库

构建基础资源模版库,能极大地提高建模的效率,避免重复建模工作,同时实现设计经验等智能知识的传承积累,因此应特别重视基础资源模版库的建设。基础资源模版库的筹建首先应根据专业特点及分类结构树(见图 1)进行合理的组织结构划分,

划分依据以方便管理、识别及调用为准。其次,创建模型所需模版,包括特征模版、零件模版、装配模版以及工程图 2D 库所需要的模版。最后,利用 CATIA Catalog 知识库管理系统,按照一定入库流程分类并存储特征模版对象及说明文档,并设置相关信息以供查询和调用^[25]。这里主要对钢闸门模版建立中所遇难点作进一步介绍,以特征模版为例说明,零件模版及装配模版的创建思路相同,可参照执行。

特征应用在零件设计环境下,利用超级副本 (PowerCopy) 和用户特征 (UDF) 的功能,实例化后可生成一系列特征^[26-27]。根据钢闸门建模的特点,一般板材焊接构件的组成元素宜做成特征模版,如板梁、型钢、锁定板等。特征模版创建并实例化的主要步骤如图 6 所示。

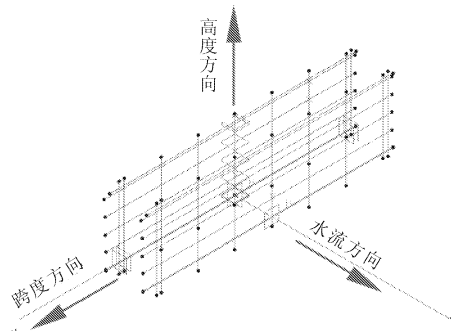


图 5 平面钢闸门门叶节单元建模骨架示意图

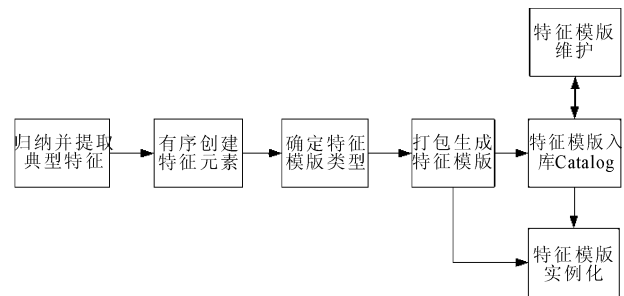


图 6 特征模版创建并实例化过程示意图

特别注意,对于特征模版来说典型特征的选取极为重要,所选的特征必须具有代表性,即选取在结构设计中出现频率高,外形相对简单但是需要多次交互操作才可以完成的型式,同时在创建及打包的过程中需结合实例化的预期效果,满足实例化后调整修改及参数化要求。例如:槽钢小梁及其短筋板为弧形闸门门叶结构的典型特征,所插入槽钢应满足以下要求:槽钢应关于闸门的孔口中心平面左右对称,槽钢型号应能按标准修改,槽钢开口向下,前翼缘上下肢点应该与面板内圆相合,槽钢上肢点与槽钢插入点相合。实例化的预期效果为:调入时,槽

钢支持面(闸门左右对称面)、面板内圆线、槽钢位置点应作为输入数据可以选择,需要在骨架文件上发布;槽钢型号作为输入参数;筋板参数在特征内设置,待特征插入后再修改。

4 数字化成果展示

通过对常用钢闸门各组成部件进行分类,分析门叶、埋件及启闭设备的结构和构造规律特点,借助“搭建骨架-调用模版数据库-装配零件”建模思路,将复杂结构建模层次化、模块化,再结合参数化与骨架关联设计方法,融合设计经验与规范要求,依托多层级模板数据库,以搭积木方式快速完成几何建模。在此模型基础之上,加载材料、设计、制造工艺要求等非几何信息,形成高质量的 BIM 模型,再进行选择性的应用,如制备工程施工图纸等。图 7、图 8 为某工程项目钢闸门设计应用数字化技术所形成的部分成果。

5 优化闸门设计

目前,闸门的设计计算更偏向于对计算结果的复核,对闸门的结构布置、构件截面、启闭机布置等

需要进行优化,往往需要编写优化程序,至少需要编写接口函数,费时费力。Catia 具有强大的优化功能,在建立模型时,优化变量、目标函数已经设置为参数,部分约束条件也自动产生,只需如图 9 填写问题、约束、计算结果选项卡即可^[28,30]。

在某三支臂表孔弧形闸门可研布置完成后,水工需要增加闸门开度,在技施阶段,利用 Catia 进行优化布置,增加了液压启闭机容量而减小了启闭机行程,技施工程量较可研反而略有减少,取得了满意的效果。

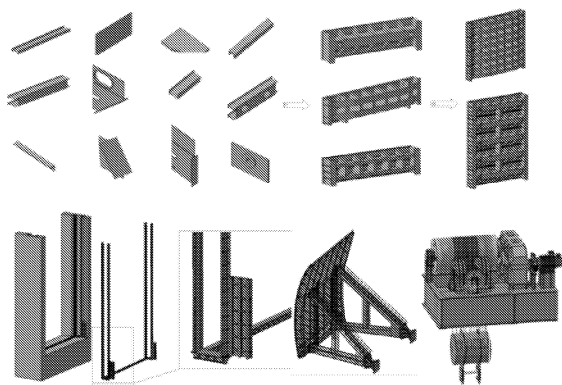


图 7 钢闸门三维数字化模型图

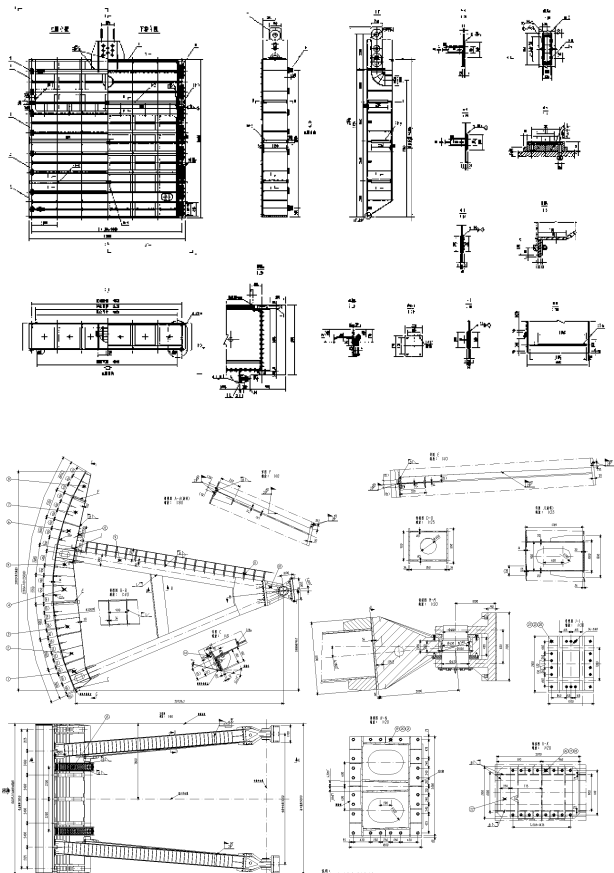


图 8 工程施工图纸二维表达效果图

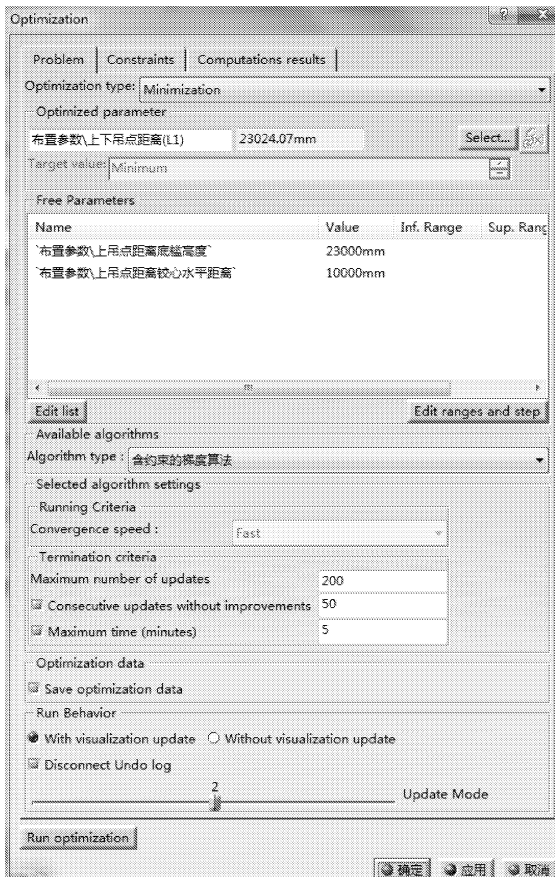


图 9 优化问题选项卡

6 结论及展望

水利行业融合 BIM 技术的发展模式在促进传统水利行业快速发展的过程中具有极大的潜力,本文紧密结合生产实践所需,积极开展了设计阶段的“钢闸门 + BIM”应用技术研究。基于 CATIA 三维设计平台,提出了一种“搭建骨架 - 调用模版数据库 - 装配零件”快速建模思路,并重点对实体建模的方法及关键技术难点作了详细的阐述,将该技术成果应用于钢闸门设计中,提高了工作效率及设计精度,解放了生产力,同时实现了信息整合及集约化管理的目的。相信随着 BIM 技术在水利工程更深入的应用,利用优化功能使设计更为合理,并进行必要的二次开发,以后钢闸门的设计将更加的专业化及智能化。

参考文献

- [1] 郑华海,刘 匀,李元齐. BIM 技术研究与应用现状[J]. 结构工程师, 2015, 31(4): 233-241.
- [2] 官 仁. 住建部印发《关于推进建筑信息模型应用的指导意见》[J]. 建筑工人, 2015(8): 50-50.
- [3] 官 仁. 上海市人民政府办公厅转发《关于在本市推进建筑信息模型技术应用的指导意见》[J]. 建筑工人, 2014(12): 48-48.
- [4] 田林钢,王素云,王福强,等. 我国水利行业 BIM 技术应用现状[J]. 华北水利水电大学学报(社会科学版), 2018, 34(3): 20-23.
- [5] 李向东,霍莉莉,刘艳娟. 三维技术与 BIM 在水利设计行业的应用现状与发展探索[J]. 水利规划与设计, 2017(10): 144-146.
- [6] 蔺志刚. 浅谈企业设计施工一体化应用发展之路[J]. 中国建设信息化, 2018, 65(10): 56-59.
- [7] 胡木生,再丽娜. 我国水工金属结构管理现状与检测技术进展[J]. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(3): 1-6.
- [8] 汪亚超,李小帅,黄艳芳,等. 基于 CATIA 的水工结构制图标准控制方法研究[J]. 人民长江, 2014, 45(1): 77-81.
- [9] 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): 57-61.
- [10] 李宗宗,刘 李. BIM 在水利水电工程施工中的应用初探[J]. 四川水力发电, 2017, 36(2): 88-90.
- [11] 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.
- [12] 李国宁,王雪岩,阿木古楞,等. 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): 111-119.
- [13] 杨顺群,郭莉莉,刘增强. 水利水电工程数字化建设发展综述[J]. 水力发电学报, 2018, 37(8): 75-84.
- [14] 余迎宾,贾 刚. 基于 CATIA 软件的水工钢闸门三维设计[J]. 水电站设计, 2009, 25(1): 17-21.
- [15] 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(5): 87-90.
- [16] 王 可,黄 元. CATIA V5 在水工金属结构设计中的应用[J]. 现代商贸工业, 2008, 20(5): 357-358.
- [17] 杨明松,贾 刚. 基于 CATIA 的水工金属结构型材库开发与应用[J]. 人民长江, 2015, 46(13): 55-57, 72.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 杨 亚,王道累. 基于 CATIA 的三维钢结构快速建模技术[J]. 山西建筑, 2008, 34(8): 96-97.
- [21] 韩云峰,蔡一飞,王国花. CATIA V5 在平面闸门三维设计中的应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2018, 16(3): 197-200.
- [22] 张 洲,席 平,胡毕富. 基于骨架模型的船体结构快速建模[J]. 图学学报, 2018, 39(5): 849-854.
- [23] 陈东明,席 平,唐家鹏. 关联设计技术在机翼盒段快速建模中的应用[J]. 图学学报, 2015, 36(5): 730-733.
- [24] 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(11): 141-144.
- [25] 黄志澎,薛利军,张 燕,等. 基于 CATIA 平台的水电三维标准件模板库[J]. 水电站设计, 2009, 25(4): 1-4, 11.
- [26] 庞 瑞,董滇红,蒋爱辞,等. Catia 和 VisualFL 在水工建筑三维设计中的应用[J]. 人民长江, 2017, 48(S1): 170-172, 183.
- [27] 张 君,刘 跃. 基于 CATIA 用户特征(UDF)的水工建筑物参数化设计[J]. 水电站设计, 2014, 30(2): 31-33.
- [28] 王智明,杨 旭,平海涛. 知识工程及专家系统[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [29] 高长银,黄 成. 中文版 CATIA V5 技术大全[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2015.
- [30] 尤春风. CATIA v5 高级应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [31] 胡 挺,吴立军. CATIA 二次开发技术基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.