

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2025.20.011

市政工程水处理构筑物数字化设计工具研发及应用

宋凌志, 陈积义, 邓京楠, 张宁, 李玲, 严铁军
(湖南省建筑设计院集团股份有限公司, 湖南长沙 410006)

摘要: 当前市政基础设施行业大力推进数字化转型,设计方式不断向数字化、智能化、集成化方向发展。针对市政给排水厂站项目设计建模过程中使用多个软件造成的设计参数和计算数据缺失,建模绘图效率低、重复工作多等问题,基于Revit软件和CAD平台定制开发参数化设计工具,实现水处理构筑物的工艺设计计算、设计参数校核、标准计算书导出、三维模型及二维图纸自动生成等功能。结合具体工程实例,对水处理构筑物参数化设计工具的科学性及实用性进行验证,设计效率与设计质量得到显著提高,可为数字化设计在市政工程领域的推广应用提供借鉴。

关键词: 数字化设计; 水处理构筑物; 市政工程; 二次开发; Revit软件; 参数化
中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2025)20-0072-07

Development and Application of Digital Design Tools for Municipal Engineering Water Treatment Structures

SONG Ling-zhi, CHEN Ji-yi, DENG Jing-nan, ZHANG Ning, LI Ling,
YAN Tie-jun

(Hunan Provincial Architectural Design Institute Group Co. Ltd., Changsha 410006, China)

Abstract: The current municipal infrastructure sector is actively advancing digital transformation, with design methodologies progressively evolving toward digitalization, intelligence, and integration. This paper developed a customized parametric design tool based on the Revit software and CAD platform in response to challenges such as the loss of design parameters and calculation data, low modeling and drafting efficiency, and excessive repetitive tasks arising from the use of multiple software platforms in the design and modeling process of municipal water supply and drainage plant projects. This tool enabled integrated functions including process design calculations, verification of design parameters, generation of standardized calculation reports, and automated creation of 3D models and 2D drawings for water treatment structures. The scientific rigor and practical applicability of the parametric design tool for water treatment structures were validated through specific engineering case studies. Significant improvements in design efficiency and quality were achieved, offering a valuable reference for advancing the adoption and application of digital design methodologies in the field of municipal engineering.

Key words: digital design; water treatment structures; municipal engineering; secondary development; Revit software; parameterization

1 项目背景

1.1 政策背景

住房和城乡建设部印发的《“十四五”建筑业发展规划》中提到:加快推进建筑信息模型(BIM)技术在工程全寿命期的集成应用,推动工程建设全过程数字化成果交付和应用。研发利用参数化、生成式设计软件,探索人工智能技术在设计中的应用。住房和城乡建设部等部门在《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》中提到:推进数字化设计体系建设,统筹建筑结构、机电设备、部品部件、装配施工、装饰装修,推行一体化集成设计。积极应用自主可控的BIM技术,加快构建数字设计基础平台和集成系统,实现设计、工艺、制造协同。由此可见,设计手段不断向数字化、智能化、集成化方向发展,参数化、生成式设计工具的研发和应用已成为必然趋势。

1.2 现状需求分析

① 行业需求:经济下行时期,市政工程行业精细化设计和数字化交付的必要性凸显。传统设计方式从计算书到图纸、从图纸到BIM模型,不同软件间参数互不关联,导致计算书、图纸、模型存在内容不对应、数据信息传输割裂等问题。

② 企业需求:存量经济时代,企业亟须通过BIM等数字化技术提高设计成果深度及标准化水平。市政给排水工程水处理构筑物设计计算思路相对成熟,具备实现参数化设计及建模的前提条件,但BIM建模效率低、重复工作多。

③ 个人需求:市政给排水工程项目设计方案变更次数多,现有设计工具的绘图和建模效率低。同一项目因设计师个人习惯有所差异,图纸字体字型、线型线宽等不统一;样板文件标准化程度低,图纸及模型中图层、构件命名混乱。

基于上述需求,定制开发参数化设计工具,适用于新建、扩建和改建的常规处理及深度处理的市政给排水厂站数字化设计项目。工艺专业设计师在方案、初步设计及施工图设计阶段,应用工具完成计算书编制、图纸绘制和BIM模型创建工作。将该工具推广使用后可实现市政给排水厂站工程的参数化、规范化、精细化设计,为数字化设计在市政工程领域的推广应用提供借鉴。

2 研究目标及技术路线

2.1 研究目标

该工具将池体构筑物参数化设计和应用作为重点,结合计算书、手册内容开展参数化设计研究,实现不同规模、不同尺寸水池模型的快速创建和应用,进而推广数字化设计,提升设计效率。具体研究目标如下:

① 参数化设计工具定制开发。研发参数化设计工具,形成具有特色的数字化设计工具集,提高数据生产力,为设计业务赋能。

② 同源数据输出多类型成果。通过输入同一套设计参数,工具可自动化创建CAD图纸、BIM模型及Word计算书,实现数模分离,保证图模一致。

③ 输入参数合规性自动检查。工具内置标准、手册检查规则,通过自动校核输入参数,保证计算书、图纸及模型中数据准确性,保障设计质量。

④ 参数独立存储,可重复使用。工具中计算数据以通用格式存储,支持逐步积累形成可共享的标准化构筑物数据资源,方便同类项目重复使用。

⑤ 显著提高设计质量和效率。通过在实际项目中推广应用数字化设计工具,提高设计成果的准确性和一致性,以及模型创建与图纸绘制效率。

2.2 技术路线

具体技术路线如图1所示。重要工作节点主要包括前期调研确定开发需求、参数化设计平台比较与选取、构筑物参数化设计逻辑研究、工具开发与功能测试、成果验证及案例应用等。

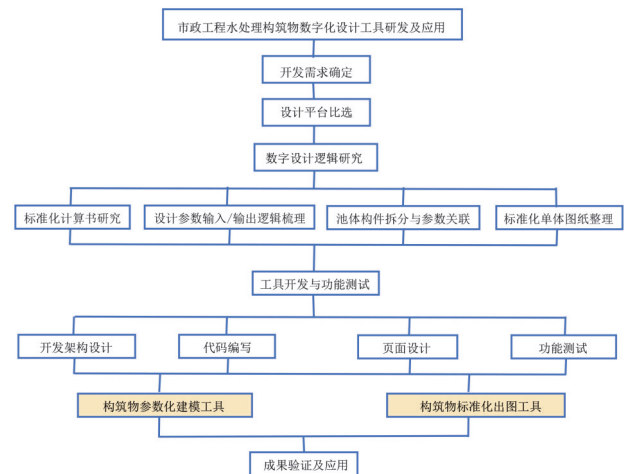


图1 技术路线

Fig.1 Technical route

3 研究对象与设计平台选取

3.1 研究对象

通过前期在公司生产部门进行调研,结合市政给排水厂站工程设计及应用需求,选择周进周出圆形二沉池、气水反冲洗滤池、折板絮凝平流式沉淀池和清水池等水厂及污水处理厂常见且通用性较强的水处理构筑物作为研究对象。以二沉池为例,

阐述参数化设计研究全过程及工程应用实例。

3.2 设计平台

通过前期调查研究分析同类设计工具特点,明确数字化设计工具开发的方向基于 Revit 软件和 CAD 平台,分别实现参数化模型创建和图纸输出。自主开发数字化设计工具与二次开发商业软件的对比分析见表 1。

表 1 自主开发数字化设计工具与二次开发商业软件对比

Tab.1 Comparison between self-developed digital design tool and secondary developed commercial software

软件名称	NCME Water++	构筑物参数化建模插件	Revit 二次开发插件	圆形水池设计工具	市政工程水处理构筑物参数化设计工具
操作平台	Bentley	ArchiCAD	Revit	CATIA	Revit+AutoCAD
软件二次开发主要功能	①基于 Bentley 平台进行二次开发,形成污水系统功能模块、管道布设工具、图库管理模块、构筑物土建模块以及编码工具;②通过剖切模型,实现二维出图与三维轴测图出图 ^[1]	①通过 GDL 开发水工艺参数化图库,能够自由进行局部尺寸参数的调整 ^[2] ;②通过 API 开发参数化构筑物插件,实现模型参数化生成及图纸剖切功能 ^[3]	通过工艺计算书提取建模参数,经 Excel 表导入 Revit 中快速建模,生成单体初模 ^[4]	通过运用 EKL 语言编写可带桩基础的圆形水池 Action,输入水池体型基桩等各项结构参数,实现一键生成圆形水池模型及水池桩基模型 ^[5]	①参数化创建二沉池(圆形)、气水反冲洗滤池、折板絮凝平流式沉淀池(方形)和清水池土建、工艺专业 BIM 模型;②参数化绘制二沉池(圆形)工艺专业平面、剖面图及水渠、井详图,根据用户绘图习惯和要求完成绘图功能定制;③实时计算并自动检查提示与规范不符的参数,数据输入完成后直接创建模型与图纸,并导出计算书文档
商业软件缺点及自主开发工具优势	①不涉及工艺设计计算过程;②不具备构件详图导出功能	①不具备工艺设计计算书导出功能;②不具备构件详图导出功能	①不具备工艺专业 BIM 模型生成功能;②不具备图纸生成功能	①目前只能生成圆形水池土建模型,不涉及工艺计算及图模一致;②不具备专业图纸导出功能	①根据用户需求定制开发,基于同一套设计参数生成模型、图纸、计算书,确保图模一致;②后期可根据用户使用需求,扩充参数化建模及绘图的单体类型

4 参数化设计研究

4.1 参数化设计计算

通过参考市政厂站范例工程的工艺设计计算书,对计算书进行标准化处理,统一格式与字体。以《给水排水设计手册》中《城镇给水》《城镇排水》推荐的计算公式及典型案例为依据建立构筑物标准设计计算方法,根据《室外给水设计标准》(GB 50013—2018)、《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)、《给水排水设计手册》给定的参数范围作为设计校核标准,形成《计算参数说明》文档。以二沉池为例,计算参数说明示例见表 2。文档中“输入值”指工程项目已知条件或需要根据规范、标准给定的设计参数输入值;“设计取值范围”指规范或标准对输入值取值的限值范围;“内嵌计算公式”指具体计算过程,方便软件开发人员理解并编程;“计算结果”为得到的计算结果及单位;“备注”中一般说明计算结果需满足的校核范围及保留位数;“输出值”指筛选出建模的参数作为计算过程的输出结

果,参与后续建模。

水处理构筑物设计计算的参数化过程,即将上述梳理的标准化设计方法中的计算公式以 C#语言编写出来,然后制作成设计计算模块。通过向计算参数界面输入原始设计资料及设计参数,系统读取参数并进行相关工艺的设计计算。对于输入的某些参数,系统会自动判断其是否符合规范要求,如果不在设计范围内,系统将予以提示,并给出合理的设计范围供设计者参考。此外,在各个模块计算的过程中,设立相关对话框进行计算结果的进一步校核,即判断所得出的结果是否满足相关规范的要求,若不符合则需检查输入的设计参数,直至结果满足相关设计规范要求为止。通过输入参数以及计算结果的自动校核,保证计算书、图纸及模型的数据准确性,保障设计质量。所有计算完成后,支持一键自动生成单体工艺计算书。

计算过程中,根据实际应用需求分类筛选输入参数、设计参数、几何建模参数、可调参数。输入参

数包括表面水力负荷、沉淀时间等,工具将根据《计算参数说明》的设计取值范围对其进行校核。设计参数包括堰口负荷、固体负荷等,工具将根据《计算参数说明》的校核条件来判定计算所得结果是否满

足相关规范要求。几何建模参数包括沉淀部分水面面积、池体直径等与建模直接相关的参数。可调参数包括池体高度、洞口几何尺寸等需为整数的参数。

表2 二沉池计算参数说明

Tab.2 Calculation parameter explanation of secondary sedimentation tank

项目		计算参数说明				
①输入	输入值	设计规模 $Q(\text{m}^3/\text{h})$	设计取值范围	活性污泥法 $0.6\sim 1.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 生物膜法 $1.0\sim 2.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$	默认 100%	
		表面水力负荷 $q_0[\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})]$				默认 $4 \text{ kgMLSS}/\text{m}^3$
		综合变化系数 K_z				
		污泥回流比 $R(\%)$				
		混合液悬浮物浓度 $N(\text{kgMLSS}/\text{m}^3)$				
进出水渠总宽度 $B(\text{m})$						
②内嵌计算	内嵌计算公式	$F_0=Q_0/q_0$	沉淀部分水面面积 $F_0(\text{m}^2)$	备注	Q_0 为单池设计流量, $Q_0=Q\cdot K_z$	
		$D_0=\sqrt{\frac{4F_0}{\pi}}$	沉淀池直径 $D_0(\text{m})$		取整为 D , 并反算实际沉淀部分水面面积 F	
		$F=\frac{\pi D^2}{4}$	实际沉淀部分水面面积 $F(\text{m}^2)$		实际值	
		$q=Q/F$	实际表面水力负荷 $q[\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})]$		实际值	
		$q_{\max}=K_z\cdot Q/F$	最大表面水力负荷 $q_{\max}[\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})]$		校核: 活性污泥法 $0.6\sim 1.5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 生物膜法 $1.0\sim 2.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$	
		$q_1=\frac{1\ 000Q}{3\ 600\pi D_1}$	堰口负荷 $q_1[\text{L}/(\text{m}\cdot\text{s})]$		校核: 需满足 $q_1\leq 1.7 \text{ L}/(\text{m}\cdot\text{s})$	
		$q_2=\frac{(1+R)QN\cdot 24}{F}$	固体负荷 $q_2[\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})]$		校核: 需满足 $q_2\leq 250 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	
③输出	输出值	实际沉淀部分水面面积 F 、池体直径 D				

4.2 参数化模型创建

在水处理构筑物 BIM 模型设计中,参数化建模主要对模型以实际参数进行几何尺寸与空间位置的约束,将各构筑物构件精准装配,从而实现构筑物模型的自动化、智能化构建。因此,需梳理建模参数,即进行几何尺寸与空间位置约束规则的制定。将构筑物按照工艺节点进行区域分解,各区域分别给出其定位规则与尺寸参数,并将各区域进行构件拆分,明确构件生成所需控制参数,确定构件参数控制规则并实现参数关联。

二沉池以圆心为项目基点,以角度进行构件定位,结合各区域工艺功能,按二沉池主体、进出水渠、泥斗、进出水井等顺序逐一拆分各功能区域,形成各区域的参数化建模方案,其部分建模参数如图2所示。

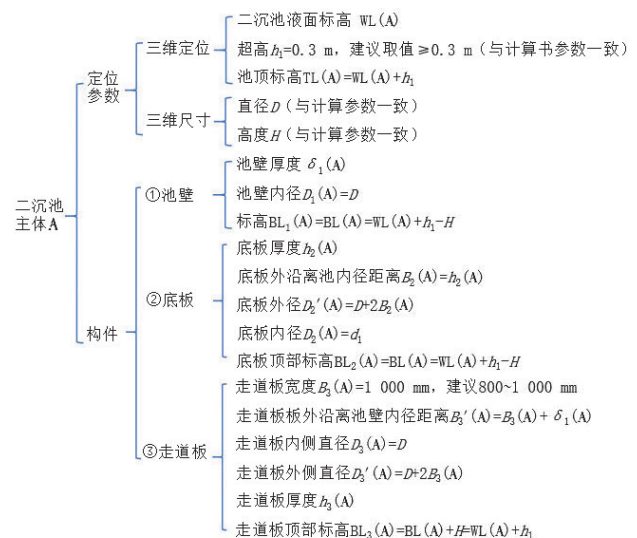


图2 二沉池部分建模参数

Fig.2 Partial modeling parameters of secondary sedimentation tank

水处理构筑物包含的构件一般分为墙体、板、洞口、结构柱、管道、进出水井等通用类型。构件生成规则中需明确的参数如表 3 所示。

表 3 构件建模主要控制参数

Tab.3 Main control parameters for component modeling

构件类型	建模控制参数
墙体	厚度、长度、高度、底部或顶部标高等
板	厚度、标高、尺寸等
洞口	尺寸、间距(或个数)、定位等
结构柱	定位轴线、间距、尺寸等
管道	管道类型、角度、直径、长度、管中心标高等
进出水井等各类井	定位、平面尺寸、标高、井壁及底板等构件的类型及尺寸等
栏杆	顶部标高、高度等
阀门	阀门族、定位等

水处理构筑物参数化建模过程是将上述梳理的参数化建模方案以 C#语言编写出来,然后制作成几何参数模块。某些计算参数与几何参数之间存在重复与联动,当其中一个值改变时,另一个值也会随之修改。为减少参数赋值时的重复操作,在后台程序中对重复和关联的参数进行整合,程序会自动引用计算参数中与尺寸、定位相关的数据,即在建模参数文档中标明“与计算参数一致”的参数。在输入界面上将从计算参数引用过来的以及有固定关联关系并自动进行计算取值的参数进行灰显。另外,为减少输入工作量,根据类似工程经验对各功能区域墙类型、板类型等设置默认参数。二沉池的参数化设计过程中涉及的参数有 100 余个,其中计算参数 37 个,几何参数 104 个。经简化与调整,手动赋值的参数量缩减至 30 余个,有效提升了二沉池的设计效率。

4.3 参数化图纸创建

通过参考范例工程的构筑物工艺设计图纸,对图纸进行标准化处理。根据《HD 市政工程 CAD 制图标准》,确定图面文字及图层要求,按照制图标准对图纸字体字型、线型线宽以及图层使用规则进行统一。绘制构筑物标准样图,为开发团队提供图纸模板,内容包括平、剖面图及井节点工艺大样图等。

CAD 端图纸创建逻辑与 Revit 端模型创建逻辑存在一定的区别(前者使用图线,后者使用族构件),需对构筑物构件进行平、剖面拆分,重新梳理

控制参数,并形成各区域平面与剖面布置图参数化绘图方案。绘图方案中构件拆分类型与建模构件拆分类型一致,同样分为墙体、板、洞口、结构柱、管道、进出水井等通用类型,唯一不同的是平面布置图的构件控制参数不包含标高、高度、板厚、墙厚等信息,而剖面布置图则与建模参数拆分规则基本一致。以二沉池进水井为例,详细说明参数化绘图方案梳理过程。其平、剖面布置绘图参数见图 3。

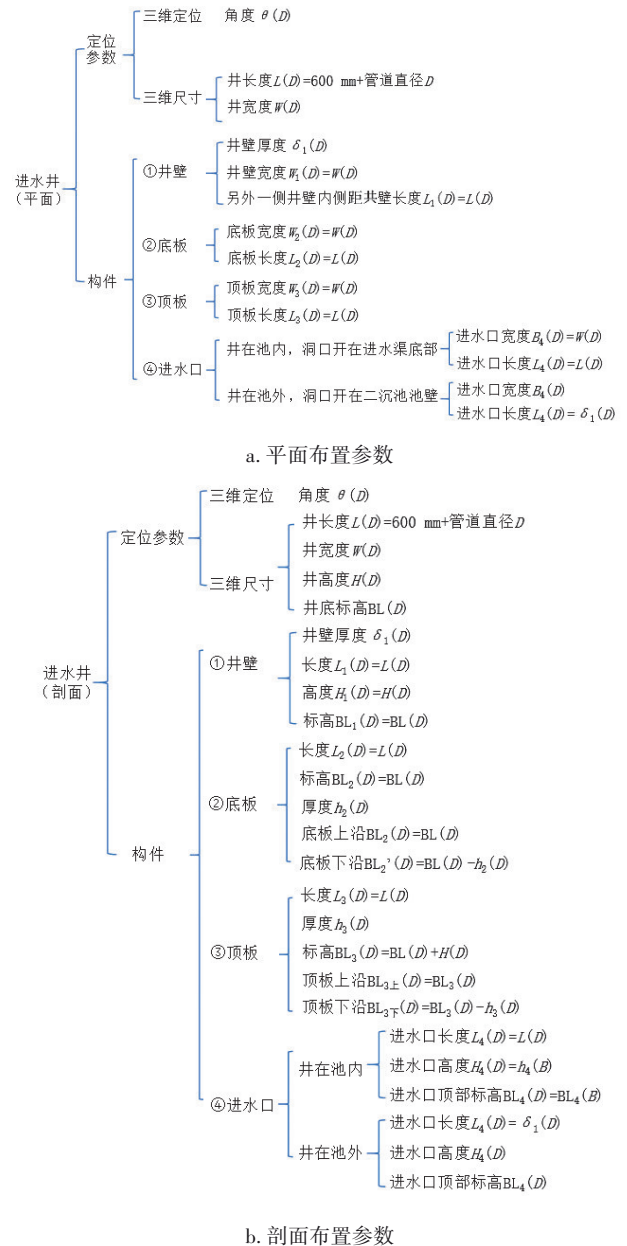


图 3 二沉池进水井平、剖面布置绘图参数

Fig.3 Drawing parameters for the plan and cross-section layout of inlet well of secondary sedimentation tank

首先确定进水井的三维定位及尺寸,三维定位

即角度,三维尺寸包括井长度与宽度,剖面布置绘图参数的三维尺寸还包括高度、井底标高。将进水井拆分为井壁、底板、顶板、进水口等构件,平面布置通过宽度、长度、厚度等确定各构件空间位置,剖面布置则通过底部标高、顶部标高、长度、厚度、定位关系确定各构件空间位置。

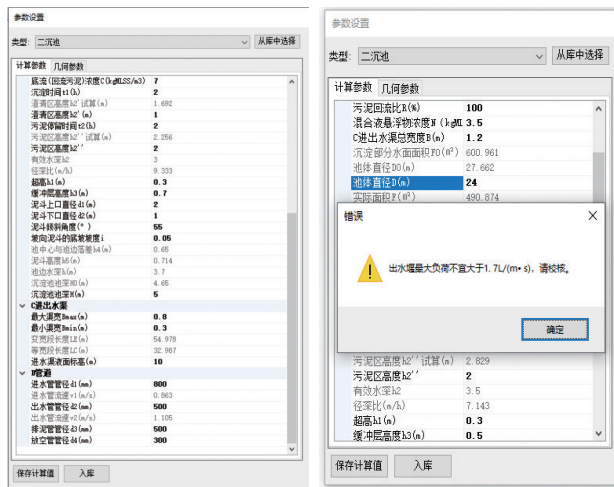
5 工程实例

5.1 工程概况

某工业园区污水处理厂一期设计规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,此次扩建规模为 $2.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,水量综合变化系数 $K_z=1.50$ 。此次新增2座周进周出二沉池,单座规模为 $1.25 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,平均时表面水力负荷 $q=1.3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

5.2 二沉池参数化设计

进入 Revit 运行环境后,加载附加模块,在水处理构筑物参数化设计工具菜单中选择“二沉池”,进入二沉池计算参数输入窗口。按照顺序输入计算参数,所有计算均完成后,点击窗口的“计算书”按键,自动生成符合格式规范的二沉池工艺计算书。二沉池计算参数输入界面与合规性检查界面如图4所示。



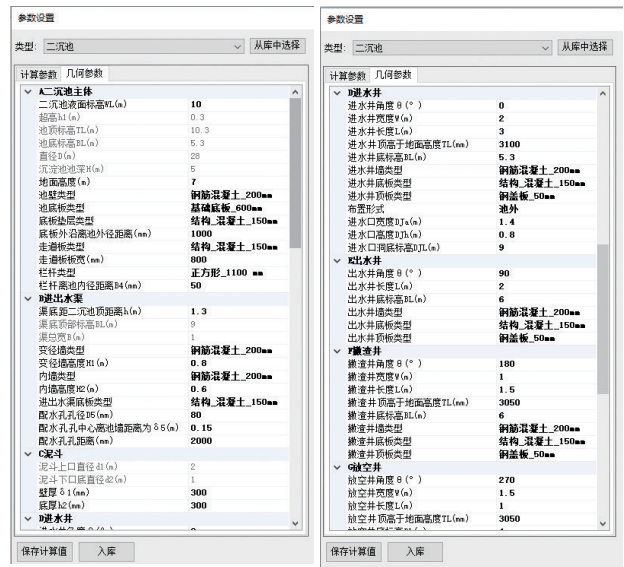
a. 计算参数输入界面 b. 合规性检查界面

图4 计算参数输入界面与合规性检查界面

Fig.4 Calculation parameter input interface and compliance check interface

5.3 二沉池参数化建模

完成二沉池工艺参数设计计算后,点击“保存计算值”,再点击“几何参数”进入几何参数输入界面(见图5)。



a. 界面1 b. 界面2

图5 几何参数输入界面

Fig.5 Geometric parameter input interface

所有几何参数均赋值完成后,点击“创建”按键,即可自动生成二沉池 BIM 模型。二沉池参数化建模工具运行结果见图6。

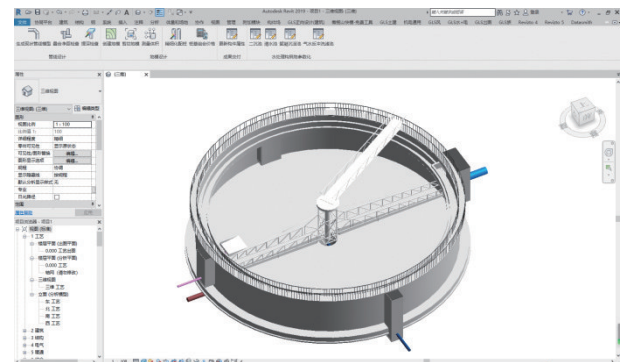


图6 二沉池参数化建模工具运行结果

Fig.6 Operation results of parametric modeling tool for secondary sedimentation tank

5.4 二沉池参数化出图

进入 AutoCAD 运行环境后,加载附加模块,然后在水处理构筑物参数化设计工具菜单中选择“二沉池”,进入二沉池计算参数输入窗口。点击“从库中选择”,可在 CAD 端直接调用 Revit 端建模参数,使用同一套设计数据快速创建符合用户制图标准的二沉池平面图、剖面图及井节点工艺大样图。

6 结论

通过系统的数字化设计研究,基于 Revit 软件和 CAD 平台定制开发市政给排水厂站构筑物数字化

设计工具,具有以下特点:

① 创新性。基于同源数据输出多类型成果,支持关键计算参数自动化合规性校核,支持计算参数独立存储并可以重复使用。

② 易用性。基于Revit+CAD双平台开发,可实现方案阶段快速建模、初步设计或施工图设计快速输出计算书及图纸。

③ 知识性。通过定制开发形成具有企业特色的数字化设计工具集,提高数据生产力,为设计业务赋能。

④ 可靠性。工具各功能模块在开发过程中经过多轮测试,尽可能满足应用需求,保证实现既定目标。

通过该工具在实际项目中的应用,检验了其科学性和实用性,构筑物模型创建效率提升90%,图纸绘制效率提升70%。通过数字化工具实现水处理构筑物BIM正向设计与自动绘图,证明其在数字化、智能化趋势下具备推广价值,数字化设计在市政工程设计中的应用值得进一步探索与实践。

参考文献:

- [1] 李文秋, 王晓杰, 徐亚男, 等. 基于 Bentley 二次开发的污水厂改造“BIM+”集成技术[J]. 中国给水排水, 2023, 39(20): 77-82.
LI Wenqiu, WANG Xiaojie, XU Yanan, *et al.* “BIM+” integrated technology for reconstruction of wastewater treatment plant based on Bentley secondary development [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(20): 77-82 (in Chinese).
- [2] 姜天凌, 徐亚男, 沈辰楠, 等. BIM 参数化技术在污水处理厂三维设计中的应用[J]. 给水排水, 2020, 46(S1): 235-237.

JIANG Tianling, XU Yanan, SHEN Chennan, *et al.* Application of BIM parameterization technology in 3D design of wastewater treatment plant [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 46(S1): 235-237 (in Chinese).

- [3] 沈辰楠, 马文新, 龚美, 等. BIM 技术在污水厂设计中的应用与二次开发——基于 ArchiCAD 平台[J]. 现代信息技术, 2021(16): 79-82.
SHEN Chennan, MA Wenxin, GONG Mei, *et al.* Application and secondary development of BIM technology in sewage plant design—based on ArchiCAD platform [J]. Modern Information Technology, 2021(16): 79-82 (in Chinese).
- [4] 龙程理, 李璐, 陈燕波, 等. BIM 技术在武汉南湖初雨处理厂设计中的应用[J]. 中国给水排水, 2021, 37(18): 82-87.
LONG Chengli, LI Lu, CHEN Yanbo, *et al.* Application of BIM technology in the design of Wuhan Nanhu initial rainwater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2021, 37(18): 82-87 (in Chinese).
- [5] 王蕊, 冉丽利, 马玉岩. 基于 3DEXPERIENCE 圆形水池设计工具按钮创建方法研究[J]. 水电站设计, 2022(4): 34-38.
WANG Rui, RAN Lili, MA Yuyan. Research on creation method of circular tank design tool button based on 3DEXPERIENCE [J]. Design of Hydroelectric Power Station, 2022(4): 34-38 (in Chinese).

作者简介:宋凌志(1995-),女,湖南长沙人,硕士,工程师,主要研究方向为市政工程数字化创新与实践。

E-mail:714569309@qq.com

收稿日期:2024-06-17

修回日期:2024-08-05

(编辑:沈靖怡)