



基于 Bentley 平台的内河高桩码头桩基 参数化设计模块开发与应用*

丁琼, 曹少璞, 付平, 熊智, 刘永胜

(湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南长沙 410200)

摘要: 针对内河高桩码头应用 BIM 技术的建模精度和建模效率难以保证的问题, 采用 VisualStudio 2017, 通过 C++、C# (Addin)、C++/CLI 混合编程等开发手段, 在 Bentley 的 Microstation 图形平台进行二次开发, 研发适用于内河高桩码头桩基参数化设计的 BIM 软件模块。模块包含高桩码头平台轴网自动设计、创建轴网平面图、图形及模型预览、桩基参数化建模、桩基参数导入、导出及桩基参数表汇总等功能。通过直观化地输入模型创建所需的参数集, 实现高精度、高效率的桩基参数化三维设计, 从而简化一类模型的创建过程, 体现了 BIM 技术在参数化设计、模型可视化统计工程量等方面的应用优势。

关键词: Bentley; BIM; 内河高桩码头; 二次开发; 参数化设计

中图分类号: U 656.1+13

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)10-0152-06

Development and application of parametric design module for piles of inland river high-pile wharf based on Bentley platform

DING Qiong, CAO Shaopu, FU Ping, XIONG Zhi, LIU Yongsheng

(Hunan Provincial Communications Planning, Survey & Design Institute Co., Ltd., Changsha 410200, China)

Abstract: Aiming at the difficulty in ensuring the modeling accuracy and efficiency of BIM technology in the application of high-pile wharf in inland rivers, Visual Studio 2017 is adopted to carry out secondary development on Bentley's Microstation graphics platform through development methods such as C++, C# (Addin), and C++/CLI mixed programming, and a BIM software module suitable for parametric design of pile foundation in high-pile wharf in inland rivers is developed. The module includes functions such as automatic design of the platform grid for high-pile wharf, creation of grid plan, preview of graphics and models, parametric modeling of pile foundations, import and export of pile foundation parameters, and summary of pile foundation parameter tables. By intuitively inputting the required parameter set for model creation, high-precision and high-efficiency parametric 3D design of pile foundations is realized, thereby simplifying the process of creating a type of model and reflecting the application advantages of BIM technology in parametric design, model visualization and statistical engineering quantity.

Keywords: Bentley; BIM; inland river high-pile wharf; secondary development; parametric design

在水运项目中积极引入 BIM 技术手段可以有效提升工程集成化程度, 引导设计方法及管理方法的重大变革。目前, 水运工程中 BIM 技术应用以建模居多, 虽然大多数 BIM 平台自身建模功能很强大, 但在实操中如何有效提高 BIM 设计的效

率和精度受到越来越广泛的重视^[1]。基于 BIM 平台软件针对性进行二次开发, 将有助于水工结构三维模型的快速建立, 提高 BIM 三维协同设计的工作效率^[2]。

随着 BIM 技术深入探索, 通过对 BIM 平台软

收稿日期: 2023-12-19

*基金项目: 2024 年度湖南省交通运输厅“揭榜挂帅”科技攻关项目(202411)

作者简介: 丁琼(1986—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事港口航道结构设计、水运工程 BIM 技术开发与应用。

件进行二次开发以实现专业结构参数化设计的应用研究逐渐增多。苏东升等^[3]、王帅等^[4]基于 Bentley 平台进行三维船闸参数设计和水运地质三维设计的二次开发; 王晓宇^[5]、张柳柳^[6]、杨正鹏等^[7]利用 Revit 二次开发的基本功能, 完成桩基参数化设计的研究与应用; 高琰哲等^[8]通过 Autodesk Revit 建模软件的参数化驱动方式建立基于 BIM 设计的码头构件族库, 利用建立完成的族库逐步搭建高桩码头信息化模型; 蔡波^[9]利用 Revit 建模平台, 自主研发水工结构参数化构件库; 范文彰等^[10]利用 Autodesk Revit API 接口二次开发一套装配式高桩码头数字化设计插件, 实现 Revit 平台中的装配式高桩码头结构快速设计建模。

本文研究的内河港口工程是一个庞大的系统工程, 具有工程体量大、协同专业多、涉及地域广等特点, 对 BIM 技术及软件平台要求也高。Bentley Microstation 通用三维设计平台相较于其他 BIM 平台, 在数据兼容能力、轻量化问题解决方面具有较强优势。考虑到码头桩基结构的复杂性, 手动 BIM 建模效率低、不能充分发挥 BIM 技术优势等因素, 且国内 BIM 技术研究中针对港口码头结构参数化设计的研发成果比较缺乏, 本文基于 Bentley 平台的 Microstation 软件进行二次开发, 研发应用于内河高桩码头桩基参数化设计的 BIM 软件模块, 旨在推动水运工程 BIM 参数化设计的效率和水平, 促进传统生产手段变革及设计质量提升。

1 模块功能概述

基于 BIM 技术的内河高桩码头桩基布置模块采用 VisualStudio 2017, 通过 C++ (MicroStation Development Language/Library)、C# (Addin)、C++/CLI 混合编程等开发手段, 在 Bentley 的 Microstation 图形平台进行二次开发。采用 MicroStation 图形平台提供的应用程序编程接口(application programming interface, API)进行产品的研发。模块主要服务于高桩码头桩基布置设计, 其主要功能包括“轴网参数化设计工具箱”和“桩基参数化布置工具箱”2 个功能分块, 见图 1。

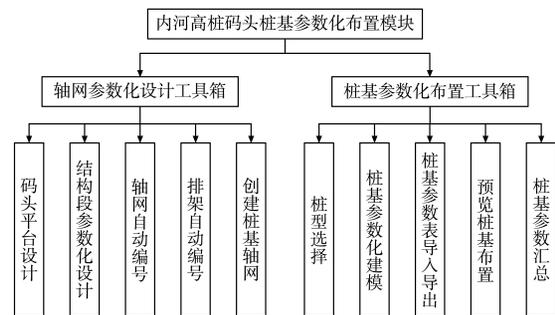


图 1 桩基参数化布置模块功能架构

1.1 轴网参数化设计工具箱

高桩码头设计中, 桩基轴网的设计是桩基布置关键所在。依据以往工程设计经验和相关规范要求, 桩基轴网的布置存在一定的布置规律和原则。

工具箱以 BIM 参数化建模思路为指导, 通过对 BIM 建模软件的二次开发, 将桩基轴网创建规则和运算法则以计算机语言的形式分装至轴网创建工具箱内。设计人员可通过工具箱操作界面直观化地输入轴网创建所需的参数集, 最终自动生成桩基轴网布置图。

智能轴网工具箱具体功能包括: 1) 码头平台设计: 码头平台整体尺寸设计及平台方位定位; 2) 结构段参数化设计: 码头平台结构段的划分功能, 标准排架间距和结构段之间及两端悬臂的设置; 3) 轴网排架自动编号: 桩基排数及排架数自动编号; 4) 轴网预览: 桩基轴网平面预览和及时修改更新; 5) 创建桩基轴网布置图: 自动生成桩基轴网布置图。

每个输入参数均配有相应的参数使用说明, 方便设计人员迅速定位参数, 直观化地输入所需的轴网参数集。

1.2 桩基参数化布置工具箱

基于上述的参数化轴网设计功能, 依据轴网中排架编号和桩基编号的定位, 通过选择桩基型号和输入编号对应的每根桩基的主要参数, 自动完成码头平台整体桩基三维布置; 亦可通过修改对应桩基参数, 直接对桩基布置模型进行修改和完善。

桩基布置工具箱具体功能包括: 1) 桩型选择: 包含钢管桩、混凝土管桩、混凝土灌注桩基及组合桩等结构形式的桩基, 主要桩基类型及对应参数, 见表 1; 2) 桩基参数化建模: 输入轴网

编号对应的每根桩基的主要参数，自动布置码头平台桩基；3) 桩基参数导入、导出：通过导出桩基布置参数模板表格，依据设计需求编辑桩基参数，导入编辑好的参数模版，更新桩基布置参数；4) 预览桩基布置：根据输入参数可预览桩基布置整体情况；5) 桩基参数汇总：通过桩基布置工具箱完善桩基布置后，可一键自动生成“码头桩基特性一览表”，对码头桩基布置情况进行统一整理和汇总，达到指导桩基施工的设计深度。

表 1 桩基类型及对应参数

桩基类型	桩基主要建模参数
钢管桩	桩长、外径、壁厚、桩顶高程、斜度、平面扭角
混凝土管桩	桩长、外径、壁厚、桩顶高程、斜度、平面扭角
灌注桩	桩长、直径、桩顶高程
带芯柱的管桩	管桩长度、管桩直径、管桩壁厚、斜度、平面扭角、桩顶高程、芯柱顶高程、桩底芯柱直径、桩底芯柱长度

2 模块设计与实现

2.1 模块研发基础

模块基于 MicroStation 图形平台，应用基于微软的 .NET 框架通过 C# 开发语言、WinForm 和 MicroStationCE SDK 共同配合进行二次开发，框架核心组成见图 2。

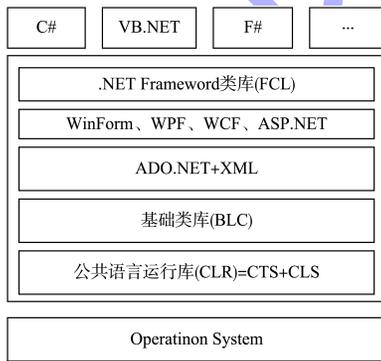


图 2 NET 框架的核心组成

MicroStationCE 的开发架构如图 3 所示，GeometryNET 几何库负责几何层面的变换与修改，在该命名空间内包含点 (DPoint3d)、向量 (DVec3d)、矩阵 (DMatrix4d)、圆柱体 (DgnCone)、球体 (DgnSphere)、圆形 (DEllipse3d) 等相关类，轴网的方向确定和桩基的创建用到此几何库；ECOjects 库负责工程属性的添加和修改，对轴网、桩基等相关属

性的赋值操作通过此类库进行；DgnPlatformNET 库负责读写 dgn 文件的操作，Bentley. DgnPlatformNET. Elements 命名空间中几乎包含所有元素类，其中轴网 (LineStringElement)、桩基 (ConeElement)、文字标注 (TextElement) 都包含在其中。

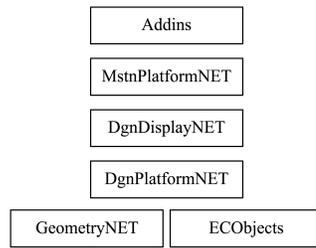


图 3 MicroStation 托管应用开发架构

2.2 桩基轴网参数化设计方法

在桩基轴网参数化设计工具箱的开发和研究中，桩基轴网设计的总体思路是依据码头平台总体尺寸，结合规范要求及工程设计经验，将轴网计算方法分装至软件工具箱内。

根据工程设计条件和规范要求，自行定义码头平台长度、码头平台宽度、平台端部悬臂段长度、结构段数量、标桩排架间距及纵向桩基间距等一系列独立设计参数；通过输入上述独立参数数值，软件后台运行图 4 中列出的轴网计算流程，

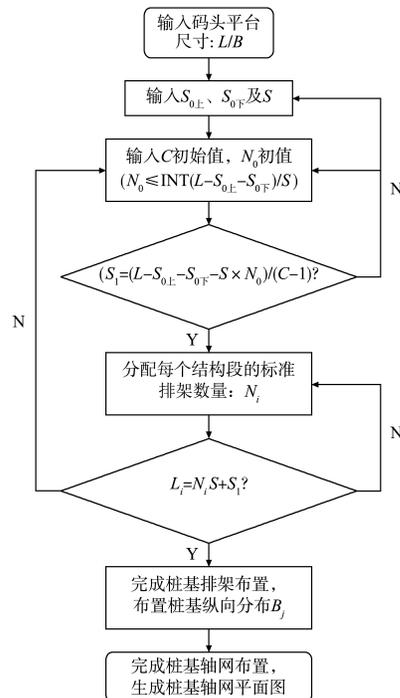


图 4 桩基轴网计算流程

最终得出标准排架总跨数、每个结构段标准排架跨数、每个结构段长度、跨中悬臂段长度及总排架数等设计参数数值。

最终各轴网计算参数应满足式(1)~(5):

$$N_0 = \sum N_i \quad (i=1 \sim C) \quad (1)$$

$$N = \sum (N_{i+1}) \quad (i=1 \sim C) \quad (2)$$

$$L_i = N_i S + S_1 \quad (3)$$

$$L = \sum L_i + S_{0上} + S_{0下} \quad (i=1 \sim C) \quad (4)$$

$$B = \sum B_j \quad (j=1, 2, 3, \dots) \quad (5)$$

式中: L 为码头平台长度, B 为码头平台宽度, $S_{0上}$ 、 $S_{0下}$ 为平台端部悬臂段长度, C 为结构段数量, S 为标桩排架间距, $B_j(j=1, 2, 3, \dots)$ 为纵向桩基间距; N_0 为标准排架总跨数; $N_i(i=1 \sim C)$ 为每个结构段标准排架跨数; $L_i(i=1 \sim C)$ 为每个结构段长度; S_1 为跨中悬臂段长度; N 为总排架数。

2.3 桩基参数化布置设计流程

桩基参数化布置工具箱不仅能实现桩基批量化的参数化建模, 而且能完成桩基参数化布置, 最终将三维桩基参数汇总、导出成“桩基特性一览表”。

当桩基轴网创建完成后, 轴网中的桩基定位数据及软件自动生成的轴网布置图可传递到桩基参数化布置工具箱。

工具箱可通过输入桩基定位参数, 即横向排架编号及纵向桩基排编号, 提取桩基对应的排架轴线与桩基纵向轴线交点, 定位每根桩基的平面位置。完成桩基定位操作后, 通过选取桩基类型即可进行桩基参数布置设计, 工具箱设计流程见图 5。

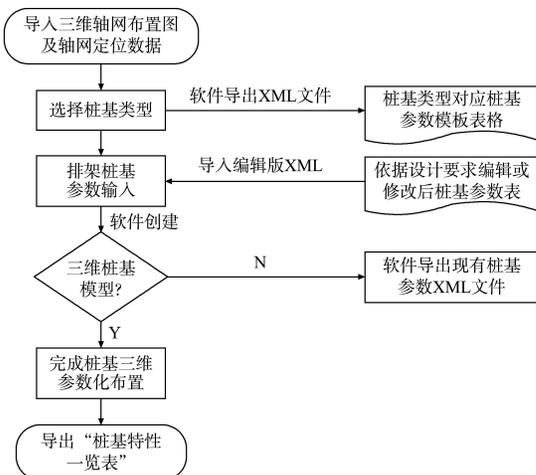


图 5 桩基参数化布置流程

3 工程应用实例

3.1 工程概况

湘阴虞公港一期工程位于湖南省岳阳市湘阴县城北、湘阴湘江大桥下游约 16 km 处。项目新建 3 000 吨级泊位 4 个(水工结构兼顾 5 000 吨级), 码头使用岸线长 522 m, 其中多用途泊位 259 m, 散货泊位 263 m, 设计年吞吐量 990 万 t。

以湘阴虞公港一期工程多用途泊位为例, 泊位码头平台长 259 m、宽 25 m, 码头面高程 35.0 m。每榀排架设 2 根直桩和 4 根斜桩, 桩基均采用外径 $D=1\ 100\text{ mm}$ 、厚度 $\delta=16\text{ mm}$ 的钢管桩, 2 对叉桩斜度为 5:1, 位于码头平台岸侧。图 6 为虞公港一期工程多用途泊位码头平台典型剖面。

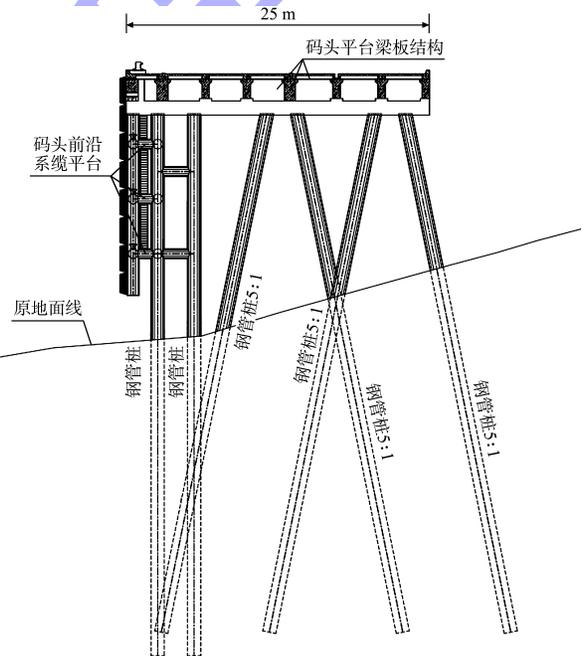


图 6 湘阴虞公港一期工程多用途泊位码头平台剖面

3.2 实例验证分析

3.2.1 桩基参数化轴网设计

在参数化轴网设计工具箱输入轴网设计参数, “图形预览”窗口将同步生成初始轴网布置图, 工具箱依据设计参数对轴网排架中心线和桩基布置轴线进行自动编号; 设计人员依据设计经验和规范要求, 对照“图形预览”窗口的轴网布置图, 对轴网设计参数进行调整和完善; 通过多次调整, 完成轴网参数化设计, 并在软件视口中生成“桩基轴网布置图”。图 7 为虞公港多用途泊位轴网的设计界面和最终生成的桩基轴网布置图。

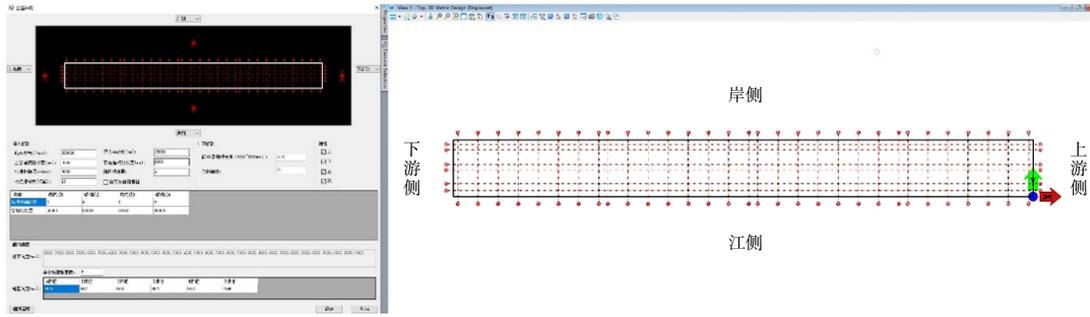


图7 参数化轴网设计界面及生成的桩基轴网布置图

3.2.2 码头桩基参数化布置

虞公港多用途泊位桩基采用钢管桩，在工具箱中选择桩型为“钢管桩”，待输入桩基参数包含“桩顶高程”、“桩长”、“外径”、“壁厚”、“桩基斜度”、“桩基平面扭角”及“桩基斜度方向”等参数。

为了批量化输入和编辑桩基参数，利用工具的“导出模板”和“导入数据”功能，通过导出桩基

参数模板表格，以模板为基础批量化定义和编辑桩基参数表；待模板中数据完善后，重新将修改后的表格导入工具箱，更新输入界面的桩基参数；通过“桩基布置预览”窗口，可以判断桩基的整体布置情况的合理性，如出现桩基碰撞，可通过修改界面桩基参数完成对桩基布置的修改和完善。码头平台桩基布置的操作流程见图8。

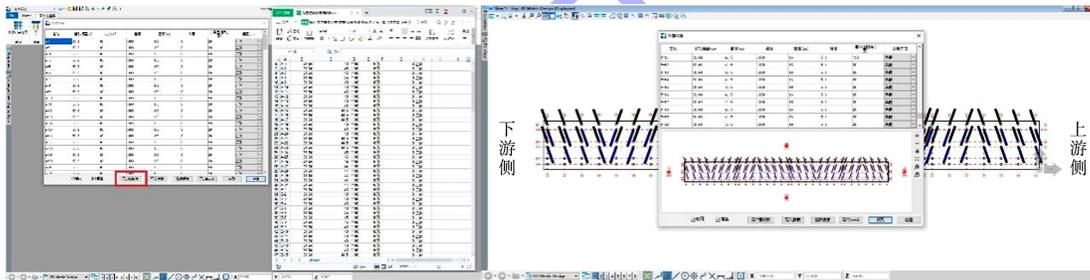


图8 参数化桩基布置工具箱操作流程

3.2.3 桩基参数汇总表输出

桩基布置完善后，工具箱自动创建满足设计规范要求的桩基三维布置模型。直观的三维桩基模型能很好地指导码头平台桩基施工，同时，通过三维模型可以一键生成“码头桩基特性一览

表”；表格将类型相同的桩基进行了统计和汇总，有效提高了桩基材料统计效率，也为后续码头结构三维设计的工程量统计提供了研发思路。图9为桩基参数化布置工具自动生成的桩基参数汇总表。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	结构段编号	行号	排架号	桩顶标高(m)	数量(根)	斜度	平面扭角	钢管桩桩长L(m)	桩类型		
2	1#结构段	A	1 2 3 4 5	31.64	5	0	0	43	D = 1100mm δ16钢管桩		
3	1#结构段	A	6 7	31.64	2	0	0	45	D = 1100mm δ16钢管桩		
4	1#结构段	B	1 2 3 4 5	31.64	5	0	0	43	D = 1100mm δ16钢管桩		
5	1#结构段	B	6 7	31.64	2	0	0	45	D = 1100mm δ16钢管桩		
6	1#结构段	C	1 2 3 4	31.64	4	5:1	20	42.5	D = 1100mm δ16钢管桩		
7	1#结构段	C	5	31.64	1	5:1	-20	42.5	D = 1100mm δ16钢管桩		
8	1#结构段	C	6 7	31.64	2	5:1	-20	44.5	D = 1100mm δ16钢管桩		
9	1#结构段	D	1 2	31.64	2	5:1	20	40.5	D = 1100mm δ16钢管桩		
10	1#结构段	D	3 4	31.64	2	5:1	20	42.5	D = 1100mm δ16钢管桩		
11	1#结构段	D	5 6 7	31.64	3	5:1	-20	42.5	D = 1100mm δ16钢管桩		
12	1#结构段	E	1 2 3 4	31.64	4	5:1	20	42.5	D = 1100mm δ16钢管桩		
13	1#结构段	E	5	31.64	1	5:1	-20	42.5	D = 1100mm δ16钢管桩		
14	1#结构段	E	6 7	31.64	2	5:1	-20	44.5	D = 1100mm δ16钢管桩		
15	1#结构段	F	1 2	31.64	2	5:1	20	40.5	D = 1100mm δ16钢管桩		

图9 自动生成的桩基参数汇总表

4 结语

1) 本文研发的参数化设计模块基于 Bentley 平台的 Mircostation 软件, 通过二次开发应用数据驱动模型, 直观化地输入模型创建所需的参数集, 驱动几何形体的生成, 从而简化了一类模型的创建过程。

2) 模块的研究与应用大幅缩短了内河高桩码头桩基建模和工程量统计的时间, 实现了高效率、高精度的桩基参数化三维设计, 体现了 BIM 技术在水工结构参数化设计、模型修改及工程量统计等方面的应用优势。

3) 依托内河港口工程开展应用实践, 验证了模块的可行性和正确性, 可为其他水工结构应用 BIM 参数化设计提供技术支撑。

4) BIM 技术是未来水运工程信息化的重要手段, 文中参数化的建模思路及建模手段为水工 BIM 正向设计系统的研发提供了方向。随着后续研究的深入, 希望能以此推动 BIM 技术在内河水运领域的应用, 为水运行业设计手段的变革与升级贡献力量。

参考文献:

[1] 伍丹琪, 谢先当, 刘厚强. 铁路隧道斜切式洞门 BIM 正向设计方法研究[J]. 铁路技术创新, 2021(4): 62-65.

[2] 傅志浩, 吕彬. 基于 ABD 平台的水工结构 VBA 二次开发研究[J]. 人民珠江, 2018, 39(2): 55-59.

[3] 苏东升, 王帅, 张丽媛. 基于 BIM 的船闸闸首参数化设计系统开发与应用研究[C]//中国交通建设股份有限公司. 中国交通建设股份有限公司 2017 年技术交流会论文集. 北京: 中国交通建设股份有限公司, 2017: 106-111.

[4] 王帅, 崔峰, 陈证钢, 等. 基于 BIM 的水运工程地质三维设计系统开发与应用[J]. 水运工程, 2021(6): 200-205, 237.

[5] 王晓宇. 基于 RevitAPI 的桩基础参数化设计[D]. 大连: 大连理工大学, 2020.

[6] 张柳柳. 基于 Dynamo 可视化编程的桥梁 BIM 模型参数化布设方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.

[7] 杨正鹏, 栗振锋, 王亚东, 等. 基于 Revit 和 Dynamo 的桥梁构件参数化建模方法对比[J]. 物流工程与管理, 2023, 45(4): 58-61, 57.

[8] 高琰哲, 陶桂兰. 基于 Revit 的高桩码头参数化建模应用探索[J]. 水道港口, 2018, 39(1): 114-118.

[9] 蔡波. BIM 技术在高桩码头设计阶段的应用[J]. 水运工程, 2021(3): 174-179.

[10] 范文彰, 徐传超, 陆晶晶. 基于 BIM 技术的装配式高桩码头设计计算一体化研究[J]. 水运工程, 2023(5): 172-177.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 117 页)

[9] 杨忠超, 邓军, 张建民, 等. 多股水平淹没射流水垫塘流场数值模拟[J]. 水力发电学报, 2004, 23(5): 69-73.

[10] 张建民, 王玉蓉, 杨永全, 等. 水平多股淹没射流水力特性及消能分析[J]. 水科学进展, 2005, 16(1): 18-22.

[11] DENG J, XU W L, ZHANG J M, et al. A new type of plunge pool-multi-horizontal submerged jets[J]. Science in China (E: Technological sciences), 2008, 51(12): 2128-2141.

[12] CHEN J G, ZHANG J M, XU W L, et al. Particle image velocimetry measurements of vortex structures in stilling

basin of multi-horizontal submerged jets [J]. Journal of hydrodynamics(B), 2013, 25(4): 556-563.

[13] CHEN J G, ZHANG J M, XU W L, et al. Characteristics of the velocity distribution in a hydraulic jump stilling basin with five parallel offset jets in a twin-layer configuration[J]. Journal of hydraulic engineering, 2014, 140(2): 208-217.

[14] 南京水利科学研究所, 天津水运工程科学研究所. 船闸输水系统设计规范: JTJ 306—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

(本文编辑 王璁)