



基于 BIM 的高桩码头结构计算数据传递

陈青红, 吴伟书

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430060)

摘要: 针对高桩码头 BIM 模型无法直接应用于有限元结构分析计算, 本文开展了高桩码头 BIM 模型数据转化为有限元计算模型的数据传递研究。通过制定高桩码头 BIM 模型的建模规则, 基于特定的结构计算软件, 开发数据接口软件, 将 BIM 模型中提取的数据转化为结构计算软件的计算数据, 通过计算软件创建有限元结构计算模型进行内力计算, 实现 BIM 模型到有限元计算模型的数据传递。工程应用实践表明, 该技术能够准确地传递数据, 提高设计效率。

关键词: 高桩码头; BIM; 有限元计算; 数据传递

中图分类号: U652.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)04-0164-06

Data transfer for structural calculation of high-piled wharf based on BIM

CHEN Qinghong, WU Weishu

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430060, China)

Abstract: To the problem of BIM model can not be directly applied to the finite element structural analysis calculation, this paper carries out the research of extracting BIM model data and transforming it into finite element calculation model data. By formulating the modeling rules for BIM model of high-piled wharf and developing data interface software based on the specific structural calculation software, the extracted data from the BIM model is converted into the calculation data for the structural calculation software. The finite element structure calculation model is created through the calculation software for internal force calculation, achieving data transfer from BIM model to finite element calculation model. Engineering practice shows that this technology can transmit data accurately and improve design efficiency.

Keywords: high-piled wharf; BIM; finite element analysis; data transfer

BIM 技术作为数字化设计的一种重要手段, 在水运工程设计中发挥着日益重要的作用^[1-4]。相较于传统的二维设计方法, 采用 BIM 技术进行高桩码头设计不仅可以更直观地展示码头的物理形态, 还能够在 BIM 模型中存储和展示更丰富的设计数据。

高桩码头有限元计算模型和 BIM 模型均为三维模型, 将 BIM 模型应用于有限元结构计算将显著减少创建有限元计算模型的工作量, 同时可以保证两者数据的一致性^[5-6], 提高设计的质量。

BIM 模型与有限元计算模型互导的一种方式

是通过中间数据格式, 目前较多地采用 IFC (Industry foundation classes) 数据格式^[7], 但由于 IFC 还处于发展过程中, 目前对水运工程适应性较弱, 采用该格式互导经常出现数据丢失, 杆件无法识别等问题。

朱艳等^[8]研究 Revit 与 Robot 软件在高桩码头的信息互通技术, 利用 Revit 和 Robot 的优势互补, 分布建模多次传递的方式, 减少信息错漏; 范文彰等^[9]通过欧特克软件官方提供的插件, 将装配式高桩码头 BIM 模型导入 Robot 软件进行计算, 在导入几何模型的基础上, 对计算模型重新定义

收稿日期: 2024-06-06

作者简介: 陈青红 (1982—), 女, 高级工程师, 从事水运工程设计及工程数字化技术研究。

截面、材料等进行计算; 潘新颖等^[10]基于 Revit 软件及其二次开发技术, 根据高桩码头结构特点, 提出衔接 BIM 模型和有限元模型的孪生建模方法。

上述方法目前均无法高效解决 BIM 模型到计算模型的数据传递, 有些无法保证数据的准确性, 没有形成通用方法, 需要根据具体项目进行人工操作干预。

基于中交二航院自主研发的希迪高桩码头结构有限元计算软件(简称希迪软件)进行研究, 通过制定高桩码头 BIM 模型的建模规则提取标准化的 BIM 模型数据, 基于结构计算软件, 制定数据转化规则, 开发数据接口软件, 将提取的标准化 BIM 模型数据自动转化为结构计算软件的输入数据, 通过结构计算软件创建有限元结构计算模型, 进行内力计算。

1 高桩码头 BIM 模型建模规则设定

1.1 设定统一的坐标系

构件的空间布置主要通过三维坐标定位, 为了形成一致且通用的空间布置数据贯通方法, 需要对高桩码头 BIM 模型设定统一的坐标系。

在工程项目中, 码头一般具有特定的平面坐标系和高程系, 如果按照项目的平面坐标系创建码头单体模型, 则码头模型通常会有一定的倾斜角度, 导致所有构件的摆放均需依据该倾斜角度进行调整, 大大增加了模型创建的难度。因此创建码头单体时通常按照相对坐标系, 将相对坐标系的某个轴设置为与码头前沿线齐平, 通过这种方式, 所有构件均可按照横平竖直的方式进行摆放, 从而便于模型的创建, 提高建模效率。

考虑模型创建的便捷性, 同时为了减少数据贯通过程的坐标换算, 码头 BIM 模型三维坐标系的设定如图 1 所示。

其中, x 轴沿码头长度方向, O 点为第 1 个排架的中心线; y 轴沿码头宽度方向, O 点为码头前沿线; z 轴沿码头高程方向, O 点为项目高程系的 O 点。

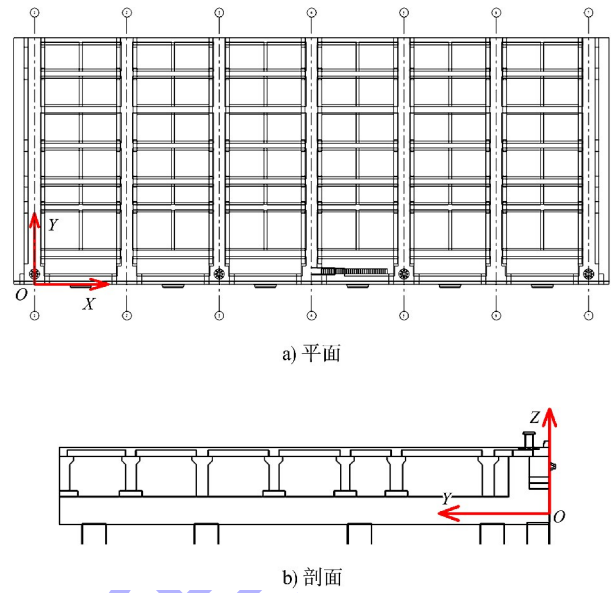


图 1 坐标系设定

Fig. 1 Coordinate system setting

1.2 对同类构件设定统一的基点

设定坐标系后, 相同结构的高桩码头由不同设计人员创建 BIM 模型, 其构件坐标也可能存在差异。对于同一种构件, 有些设计人员选择构件左侧中心线的底部, 有些选择构件右侧中心线的顶部, 这会导致在 BIM 模型中相同空间位置的同一个构件的坐标不同。为了保证 BIM 模型中提取的构件坐标的一致性, 需要对高桩码头 BIM 模型的同类构件规定统一的基点。因此通过二次开发技术从 BIM 模型中提取的构件坐标作为构件基准点的坐标。

结合用户操作习惯和建模的便利性, 桩基的基点设定在桩中心与上部结构的连接点, 横梁基点设定在码头前沿侧梁截面中心的顶部点, 纵向梁系基点均设置在梁左端(即 x 坐标数值较小的一端)截面中心线的顶面处, 如图 2 所示。

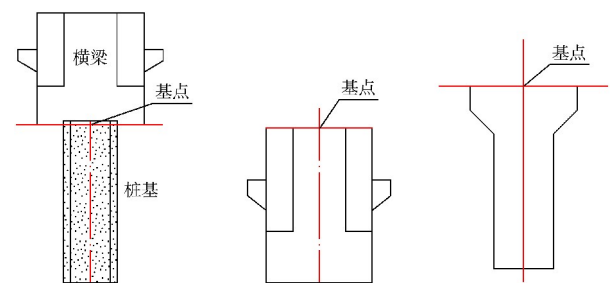


图 2 构件基准点设定

Fig. 2 Component reference points setting

1.3 对同类构件设定统一的属性数据

BIM 模型中构件的基准点只有 1 个，而有限元计算模型中杆件是一条线，需要有起始点的坐标才能确定空间布置；面板是 1 个板壳，需要 4 个点的坐标才能确定空间布置。除了从 BIM 模型中提取构件基点坐标外，构件其他定位点的坐标需通过基点坐标与构件的长度、宽度等几何尺寸换算得出，并且进行有限元结构计算时，构件也必须具有几何特征值，因此 BIM 模型中的构件必须具有长度、宽度、高度等轮廓几何尺寸数据。

有限元计算还需要构件的物理属性参数，BIM 模型创建时构件还需包含材质数据。为便于软件从 BIM 模型中自动识别不同类型的构件，对构件按照行业规范进行编码。因此，在建模规则中对高桩码头构件需包含的属性数据进行了详细规定，将数据按照尺寸、文字、材质和装饰等进行分类，并规定模型中每个数据的格式和单位，表 1 为横梁构件需要包含的基本数据。

表 1 横梁构件数据
Tab. 1 Data of crossbeam components

构件名称	数据分组方式	数据名称	数据类型	单位
横梁	尺寸	长度	数值	mm
		高度	数值	mm
		下横梁宽度	数值	mm
		下横梁高度	数值	mm
		上横梁宽度	数值	mm
		上横梁高度	数值	mm
		体积	数值	m ³
文字	文字	编码	文本	-
		含筋率	数值	kg/m ³
		配筋信息	文本	-
		埋件信息	文本	-
		技术要求	文本	-
材质和装饰	材质	枚举	-	

2 数据转化算法

希迪软件主要包括高桩码头结构有限元模型参数化创建、结构内力计算分析、构件配筋或强度验算、计算书生成等功能。软件在进行结构分析计算时，主要输入四类关键数据：总

体数据、构件特征值数据、构件布置数据以及荷载数据。鉴于荷载数据在希迪软件中通过设备选型或输入数据更为便捷，因此本文主要研究将 BIM 模型中提取的数据转化为结构计算软件的总体数据、构件特征值数据和构件布置数据的转换算法。

2.1 总体数据

总体数据涵盖了结构段的尺寸、排架间距以及梁板构件的种类数量等数据，需要通过构件数据进行汇总转换，结构段的长度和宽度可通过码头面层的尺寸换算，排架间距则可通过相邻横梁 x 坐标的差值计算，而梁板构件的种类数量则可通过构件特征表中的类型数确定，表 2 为部分总体数据的转换算法。

表 2 部分总体数据转换算法
Tab. 2 Data conversion algorithm for some overall data

BIM 模型数据	希迪软件数据	数据转换算法
面层“长度”	分段长度/m	简支结构取最后一根横梁的 x 坐标 0.1 m, 悬臂结构取面层“长度”
面层“宽度”	分段宽度/m	相等
x 坐标	排架间距/m	2 号横梁 x 坐标减去 1 号横梁的 x 坐标
-	横梁类型数	对应横梁构件特征表中的“构件类型编号”总个数

2.2 构件特征值数据

常规高桩码头的构件主要包括桩基、横梁、轨道梁、纵梁、前边梁、后边梁、系靠船梁、面板等。构件特征值反映构件的断面特性和物理属性，断面特性包括构件的几何尺寸和形状，物理特性包括材料的密度、强度、弹性模量和泊松比等。尺寸和形状可通过 BIM 模型中的几何类型参数得到，物理特性可通过材质数据得到，在换算时按照构件以列表形式详细列出数据之间的换算关系，表 3 为横梁构件特征值数据转换算法。

表 3 横梁特征值数据转换算法
Tab. 3 Data conversion algorithm for characteristic values of crossbeam

BIM 模型数据	计算软件数据	数据转换算法
族名称+族类型名称	构件类型编号	“族名称”与“族类型名称”的组合,按顺序输出
长度	横梁长度/m	相等
高度	截面高度/m	相等
下横梁宽度	下横梁宽度/m	相等
下横梁高度	下横梁高度/m	相等
上横梁宽度	上横梁宽度/m	相等
上横梁高度	上横梁高度/m	相等
材质	混凝土标号	相等

2.3 构件布置数据

BIM 模型中构件按照实际的空间占位尺寸进行摆放,上部结构的横梁、纵向梁系和面板面层等存在一定的位置差。按照有限元模型进行计算时,通常会进行一定的简化,希迪软件已自动考虑了简化后构件之间的连接关系,桩基布置主要考虑每根桩所在的排架位置、距码头前沿的距离、竖向斜度、平面扭角等,梁系布置主要考虑每根梁在结构段中的排架位置或跨度位置、距离码头平台前沿和左端的距离,面板布置主要考虑面板所在跨度、距离码头前沿的距离、面板宽度等数据。

这些数据均可通过 BIM 模型中提取的构件坐标和构件尺寸进行换算得出,表 4 为算法中的横梁布置数据换算。

表 4 横梁布置数据换算
Tab. 4 Conversion of crossbeam layout data

BIM 模型数据	计算软件数据	数据转换算法
x 坐标	横梁序号	以横梁的 x 坐标排序
y 坐标	横梁前端至前沿线的距离/m	相等
x 坐标	横梁至平台左端的距离/m	简支结构:
		1 0.1 m
		2 $(x_2-x_1)+0.1$ m
	
		n $(x_n-x_1)+0.1$ m
		悬臂结构:横梁的 x 坐标-面层的 x 坐标
长度	横梁长度/m	相等

3 数据转化接口软件开发

接口软件内嵌于 Revit 软件中,基于 Revit 软件的二次开发功能,用 Revit API 技术实现对 BIM 模型中构件及其相应属性数据的提取^[11],对于提取出的原始模型数据,软件应用自研数据转化算法工具,将其转化成希迪软件数据,算法工具是依赖 python 环境下 numpy、pandas 等函数库严格按照制定的数据转化算法而开发,数据接口软件主要界面如图 3 所示。



图 3 数据接口软件主要界面

Fig. 3 Main interface of data interface software

4 工程应用

选取某工程项目高桩梁板码头的 1 个结构段进行应用,该结构段设置 7 个排架,排架间距为 9 m,

两端悬臂长度为 2 m,平台宽度为 24 m,每个排架设置 4 根 $\phi 1\ 200\delta 18$ mm 的钢管桩直桩,上部结构由横梁、轨道梁、纵梁、前边梁、后边梁、面

板、面层等构件组成,下部设置3层钢系缆平台,钢系靠船梁规格为 $\phi 800\delta 14$ mm,钢靠船构件规格为 $\phi 1200\delta 16$ mm,钢联系撑规格为 $\phi 800\delta 16$ mm。按照模型规则的设定创建规范化的BIM模型,如图4所示。

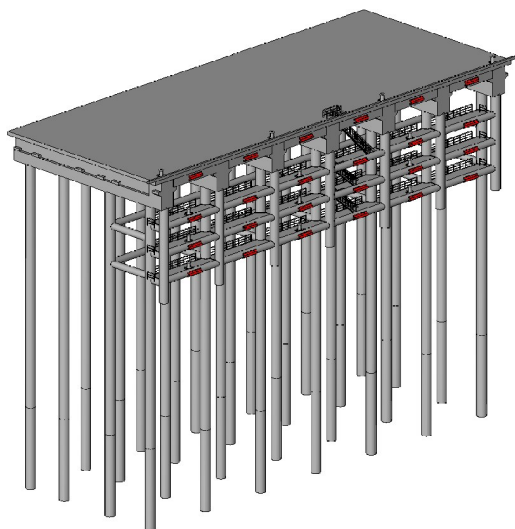


图4 结构段BIM模型

Fig. 4 BIM model of structural segment

打开数据接口软件,一键提取数据并进行转化,BIM模型中的构件几何、物理特征数据和布置数据即转化为希迪软件需要的计算数据,再输入荷载数据后,即可快速生成有限元计算模型,各构件的几何特性、物理特性和空间布置与BIM模型完全一致,如图5所示。生成的有限元计算模型与BIM模型数据一致,与手动输入所有计算数据相比,输入数据的时间从1h缩短到10min左右,并且减少了核对数据的工作量。

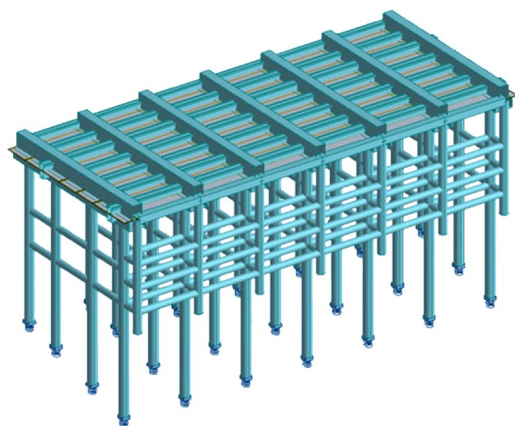


图5 结构段有限元计算模型

Fig. 5 Finite element calculation model of structural segment

5 结语

1) 本文提出基于BIM的高桩码头结构计算数据传递研究,规范了设计人员创建的高桩码头BIM模型,能够实现提取BIM模型数据转化为结构计算软件数据,驱动有限元结构计算模型的自动创建,使BIM模型的数据价值得到充分发挥。

2) 从BIM模型提取数据传递到结构计算软件,既保障了设计阶段不同环节数据的一致性,又提高了设计效率,确保设计质量。

3) 高桩码头设计阶段BIM模型的规范化、标准化既有利于设计阶段不同环节的数据传递,也可为设计阶段数据向施工和运维阶段传递打下基础。

参考文献:

- [1] 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.
CAI B. Application of BIM technique in the design of high-piled wharf [J]. Port & waterway engineering, 2021(3), 174-179.
- [2] 刘爽, 王鑫珏, 王洪刚. 高桩码头BIM协同设计应用研究[J]. 港工技术, 2021, 58(2): 92-94.
LIU S, WANG X J, WANG H G. Research on application of BIM collaborative design for high-piled wharf [J]. Port engineering technology, 2021, 58(2): 92-94.
- [3] 张献. BIM技术在高桩码头中的应用[J]. 交通企业管理, 2019, 34(5): 67-68.
ZHANG X. Application of BIM technology in high-piled wharf [J]. Transportation enterprise management, 2019, 34(5): 67-68.
- [4] 朱艳, 高加云, 李小军, 等. 板梁式高桩码头三维设计优化关键技术[J]. 中国水运(下半月), 2021, 21(6): 94-97.
ZHU Y, GAO J Y, LI X J, et al. Key technologies for 3D design optimization of beam-slab high-piled wharf [J]. China water transport (second half of month), 2021, 21(6): 94-97.
- [5] 严旭, 范盛颖, 周光炳. BIM结构设计模型与计算软件贯通的研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2017, 9(2): 84-87.
YAN X, FAN S Y, ZHOU G B. Research on the linking

- up from structure design BIM model to calculation softwares[J]. Journal of information technology in civil engineering and architecture, 2017, 9(2): 84-87.
- [6] 满延磊, 吴杰, 张其林, 等. 基于建筑信息模型的支吊架全过程设计系统[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2019, 47(10): 1383-1389.
- MAN Y L, WU J, ZHANG Q L, et al. Whole process design system for support and hanger structures based on BIM[J]. Journal of Tongji University (natural science), 2019, 47(10): 1383-1389.
- [7] 文曦, 陈青红, 邹艳春, 等. 基于 IFC 的水运基础设施信息模型[J]. 水运工程, 2018(8): 129-134.
- WEN X, CHEN Q H, ZOU Y C, et al. Information model of waterway transport infrastructure based on IFC[J]. Port & waterway engineering, 2018(8): 129-134.
- [8] 朱艳, 顾倩燕, 高加云. Autodesk Revit 与 Robot Structural Analysis 应用在高桩码头的信息互通技术研究[J]. 中国水运(下半月), 2018, 18(11): 68-70, 73.
- ZHU Y, GU Q Y, GAO J Y. Research on information interconnection technology between Autodesk Revit and Robot Structural Analysis applied to high-piled wharf [J]. China water transport, 2018, 18(11), 68-70, 73.
- [9] 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.
- FAN W Z, XU C C, LU J J. Integration of design and calculation of prefabricated high-piled wharf based on BIM technology[J]. Port & waterway engineering, 2023(5), 172-177.
- [10] 潘新颖, 费华平, 史宏达, 等. 高桩码头 BIM 孪生建模及有限元模型转换方法研究[J]. 水运工程, 2023(9): 165-170.
- PAN X Y, FEI H P, SHI H D, et al. BIM twin modeling and finite element model conversion method of high-piled wharf [J]. Port & waterway engineering, 2023(9): 165-170.
- [11] 陶婉婉. 基于二次开发方法的 BIM 模型数据提取方法研究[J]. 价值工程, 2019, 38(8): 159-161.
- TAO W W. Research on data extraction method of BIM model based on secondary development method [J]. Value engineering, 2019, 38(8): 159-161.
- (本文编辑 赵娟)
-
- (上接第 155 页)
- [8] 郭应时, 蒋拯民, 白艳, 等. 无人驾驶汽车路径跟踪控制方法拟人程度研究[J]. 中国公路学报, 2018, 31(8): 189-196.
- GUO Y S, JIANG Z M, BAI Y, et al. Investigation of humanoid level of path tracking methods based on autonomous vehicles [J]. China journal of highway and transport, 2018, 31(8): 189-196.
- [9] 王承强, 贾宇, 王臣, 等. 基于无基准动态位移监测的江苏某高桩码头变位特征与安全预警[J]. 水运工程, 2024(2): 35-42, 48.
- WANG C Q, JIA Y, WANG C, et al. Displacement characteristics and safety warning of a high pile wharf in Jiangsu Province based on dynamic displacement monitoring without reference [J]. Port & waterway engineering, 2024(2): 35-42, 48.
- [10] DAI H Q, CHEN Y X, REN H W, et al. Building a unified spatio-temporal data model for grid resources based on microservice architecture [J]. Journal of physics(conference series). 2022, 2404(1): 012037.
- (本文编辑 王传瑜)