



# 某重件码头固定式桅杆吊墩台的三维协同设计

蔡波<sup>1</sup>, 陈新<sup>2,3</sup>, 刘普<sup>2,3</sup>

(1. 中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430040;

2. 中交武汉港湾工程设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430040;

3. 海工结构新材料及维护加固技术湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430040)

**摘要:** 针对固定式桅杆吊墩台在二维设计过程中专业间协同不充分、图纸表达准确性不够、设计的标准化程度偏低等问题, 依托某重件码头工程, 采用数字化三维协同设计技术, 开展桅杆吊墩台基础的施工图设计阶段的应用研究。通过部署协同工作环境、参数化驱动设计, 从多专业协同设计、桩基优化布置、结构计算、预埋件参数化布置、工程量统计及标准出图 6 个应用点进行阐述。实践应用表明: 并行工作模式的三维协同设计提升了专业间的协同, 缩短了设计周期, 参数化设计使方案优化比选更加便捷高效, 族库的积累提升了设计成果输出的标准化水平。

**关键词:** 固定式桅杆吊; 墩台基础; 三维协同设计; 建筑信息模型

中图分类号: U 656.1+13; U 443.25

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)02-0162-06

## 3D collaborative pier design of fixed mast cranes at heavy cargo wharf

CAI Bo<sup>1</sup>, CHEN Xin<sup>2,3</sup>, LIU Pu<sup>2,3</sup>

(1.Design & Research Institute, CCCC Second Harbor Engineering Company Ltd., Wuhan 430040, China;

2.CCCC Wuhan Harbor Engineering Design & Research Co., Ltd., Wuhan 430040, China;

3.Hubei Key Laboratory of Advanced Materials & Reinforcement Technology Research for Marine Environment Structures, Wuhan 430040, China)

**Abstract:** The two-dimensional(2D) pier design process of fixed mast cranes is exposed to problems such as insufficient cooperation between specialties, inaccurate expression of drawings, and low standardization of design. Therefore, utilizing a project at a heavy cargo wharf, this paper applies the digital 3D collaborative design technology to the construction design stage of the pier foundation of mast cranes. Through the deployment of collaborative work environment and parameter-driven design, this paper expounds on six application points including multi-disciplinary collaborative design, optimal layout of pile foundations, structural calculations, parametric layout of embedded parts, statistics of engineering quantity, and standard drawings. The practical applications show that the 3D collaborative design of the parallel working mode improves the collaboration between specialties and shortens the design cycle. In addition, the parametric design makes scheme optimization and selection more convenient and efficient, and the accumulation of family libraries promotes the standardization level of design.

**Keywords:** fixed mast crane; pier foundation; 3D collaborative design; building information modeling(BIM)

固定式桅杆起重机结构起升质量大, 受场地限制小, 成本相对较低, 在港口码头场地的超大、超重件装卸作业方面得到广泛应用。

丁大志等<sup>[1]</sup>采用 Revit 二次开发实现了防波堤

工程的快速建模, 提升了三维设计效率及质量; 王飞等<sup>[2]</sup>建立了堤坝工程编码标准、命名体系及三维实体构建的信息化框架, 为 BIM 全流程应用提供了重要参考; 李家华等<sup>[3]</sup>基于一定的合理假

收稿日期: 2021-04-13

作者简介: 蔡波(1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港航科研、设计、咨询及水运工程 BIM 技术应用。

设条件,采用 Civil 3D 建立了海堤工程的三维地质模型,进而精确统计各土层的开挖量;阳柯<sup>[4]</sup>基于 BIM 正向设计的实施流程,在客货滚装码头工程中开展试点应用,并在三维协同、异形结构设计等重点设计方面取得良好效果;牛作鹏等<sup>[5]</sup>采用 BIM 技术提出构建航道地形曲面模型的改进方法,为测绘工程提供了有益借鉴。BIM 技术的应用为三维标准化设计提供了新的解决途径<sup>[6-7]</sup>,参数化设计实现了模型的联动设计与批量修改。

本文依托的重件码头工程项目采用 1 100 t-51 m 固定式桅杆吊起重机械。1 000 吨级以上桅杆吊的荷载标准值等主要技术指标暂未收录整理于 JTS 144-1—2010《港口工程荷载规范》局部修订(重件起重运输机械荷载部分),因而本文的设计成果是对上述规范的补充与完善,将进一步丰富我国在固定式桅杆起重机设备基础的设计建造经验。笔者阐述 BIM 技术在设计阶段的应用点,旨在从多专业三维协同设计的角度提升墩台结构的设计质量与效率,为类似项目的三维设计提供新的思路和方法。

1 工程概况

工程建设 1 个 2 万吨级重件泊位,码头长 206 m,宽 40 m,共分为 5 个结构段,三维实体 BIM 模型见图 1。码头中间结构段作为固定式桅杆吊装卸设备的墩台基础,并兼顾码头功能。

桅杆吊墩台包括前臂承台和后拉锚承台,前臂承台由于兼作码头平台,采用与码头平台同宽的高桩墩台结构。平面尺寸为 40 m×32 m(长×宽),墩台前 20 m 范围设置 5 排桩,桩基排架间距为 7.2 m,每个排架设置 5 根 φ1 200 mm 桩基。上部为厚 2.50~3.75 m 现浇钢筋混凝土墩台。桅杆吊后拉锚承台尺寸为 30 m×23 m(长×宽),承台下共设置 5 排桩,上部为厚 3.50~5.50 m 现浇钢筋混凝土墩台。

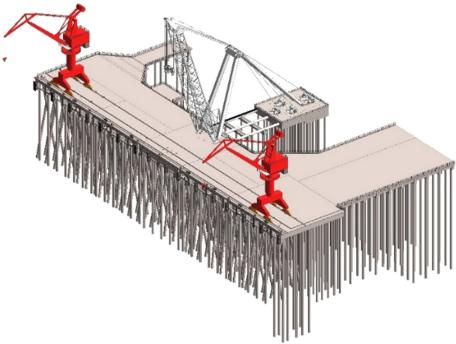


图1 码头平台 BIM 模型

2 设计要点

2.1 多专业协同设计

墩台基础的设计涉及水工结构、装卸工艺、给排水、电气及附属设施等多个专业,尤其是预埋件的布置应与多专业协同设计。须建立多专业的协同机制,做到实时共享阶段设计成果,以保证墩台预埋件与多个专业的协调。

2.2 基础结构形式

本工程表层土体物理力学性能较差,且极端高低水位差达到 6.85 m,故桅杆吊基础拟采用桩基承台式基础。考虑到基础墩台承受较大的水平及竖向荷载,须结合地勘数据建立精准地形地质三维模型,优化比选并确定最佳桩基布置方案。

2.3 结构外形尺寸的确定

桅杆吊基础的平面尺寸不仅要满足重件水平运输车的行驶要求,还应满足装卸船所需要的桅杆吊变幅水平净外伸距离。基础的外形尺寸也受固定式桅杆吊装卸工艺设备、设计船舶的停靠及系缆、预埋件位置及大小的影响。综合上述约束条件,如何有效地控制主要尺寸参数,实现参数化联动修改,是合理确定并优化外形尺寸的关键。

3 墩台结构设计

3.1 协同设计

结合固定式桅杆吊墩台设计流程,总图、水工及装卸工艺专业间的相互提资、工作集、权限管理等,说明 BIM 多专业协同在墩台结构设计中

的应用。首先，基于 Revit Server 建立多专业的协同服务器，生成多专业的基于权限管理的工作集

(按照专业划分)，保证实时数据的集中存储与共享，以及权限管理(图 2)。



图 2 多专业工作集设定

总图专业由水文和地勘资料确定测量点及基点坐标、特征水位、场地布置，码头及墩台区域范围、轴网、特征高程等。根据总图的初步设计模型，直接提取其附带的控制参数信息，水工结构专业在其对应的工作集创建包括桅杆吊前臂承台、后拉锚承台、钢撑连接体系、桩基等模型。

装卸工艺专业则根据工艺方案布置并创建桅杆吊、防风锚固件、系缆锚固件等模型。各专业模型的创建均基于协同服务器平台，并实时地将阶段设计模型数据反馈给其他专业，从而实现并行协同设计，保证多专业的阶段设计成果同步更新、实时共享(图 3)。

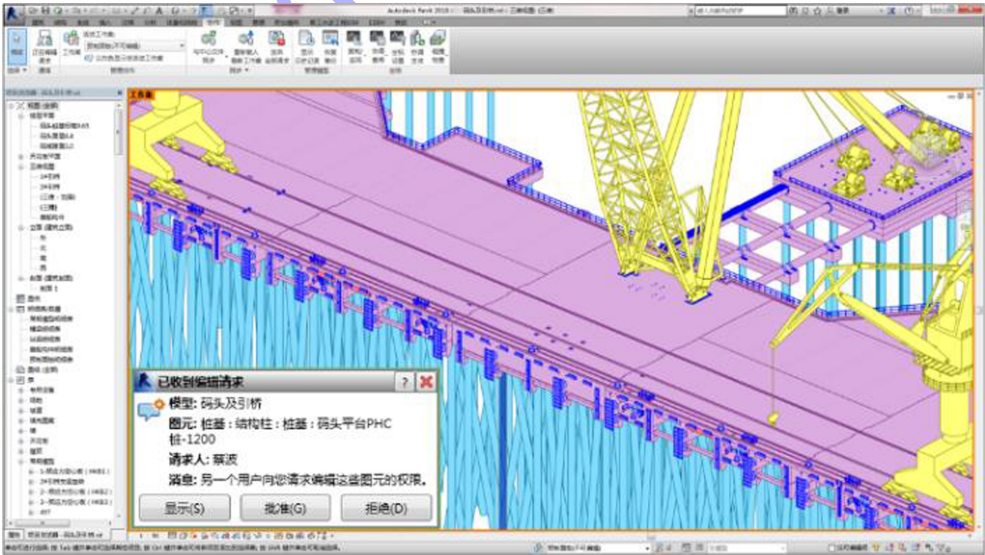


图 3 各专业实时协同

3.2 桩基基础

1 100 t 固定式桅杆吊的作用工况下，臂架下

铰、人字架前撑点及后座拉锚点将产生较大的竖向压力及水平力，以及自重及移动荷载作用，形



成多种荷载组合。借助 BIM 参数化技术创建地质模型, 并确定桩基布置及桩长, 实现参数化多方案比选。

地形及地质层模型的创建, 采用可视化计算式编程工具 Dynamo, 通过对地勘数据提取、插值拟合, 创建精准的多层地质模型(图 4)。桩基的基本输入参数包括: 桩基顶高程、桩径、桩长、平面转角、倾斜率、横纵间距等。地质层的基本输入参数包括: 地质层编号、持力层编号、端阻力标准值  $q_R$ 、侧摩阻力标准值  $q_{fi}$  等(图 5)。根据有限元分析计算得到的桩基支反力, 基于 Dynamo 实现参数化驱动, 以满足标准规范、设计承载力、规格类型等的边界条件, 综合比选确定最优的桩基布置方案。

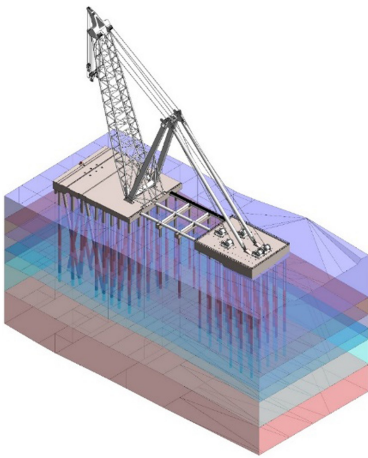


图 4 三维地质模型

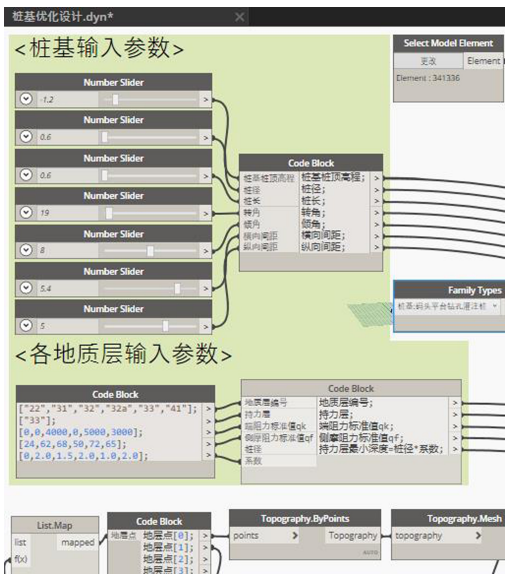


图 5 桩基参数化设计界面

3.3 结构计算

采用 Midas Civil 进行墩台整体结构模型的有限元分析。基于建立的 BIM 模型, 采用模型接口插件 Midas link for Revit Structure 实现 Revit 模型到 Madis Civil 的几何模型数据转换, 以提高模型的复用性, 减少重复建模。通过 Element Size 和 Material Mapping 功能进行有限元网格自动划分、材料属性映射, 图 6 为导入 Midas Civil 的 Revit 墩台结构整体模型。

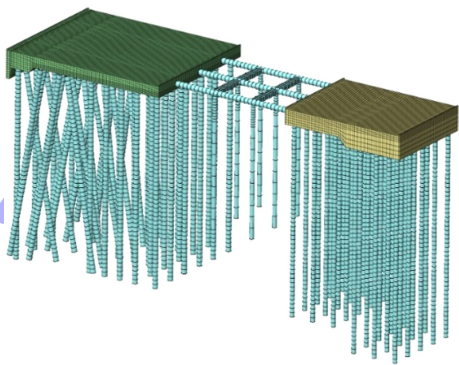


图 6 Revit 导入 Midas 整体模型

3.4 预埋件设计

墩台基础的预埋件设计(含预留孔及预留槽)包括装卸工艺、水工结构、电气及给排水 4 个大类, 具体包括前臂前撑、主/副钩拉索、系船柱、橡胶护舷、钢支撑、电缆钢管、水管穿孔、电缆槽及钢轨槽等 16 项子类的预埋件, 数量合计 386 处。

为了更好地统筹多专业并行协同设计, 设定全专业预埋件工作集(图 7)。预埋件控制参数设定见图 8, 进行可视化、参数化的合理布置, 避免了二维设计存在的埋件定位不准确, 以及平面、立面、剖面不一致等不足, 保证了方案优化时快速准确的位置调整, 从而提升墩台基础的设计质量。

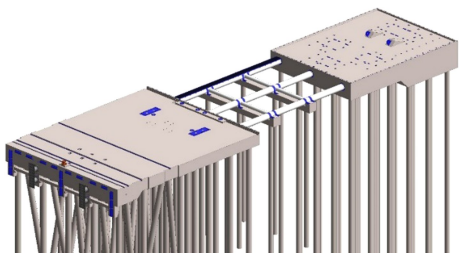


图 7 全专业预埋件布置

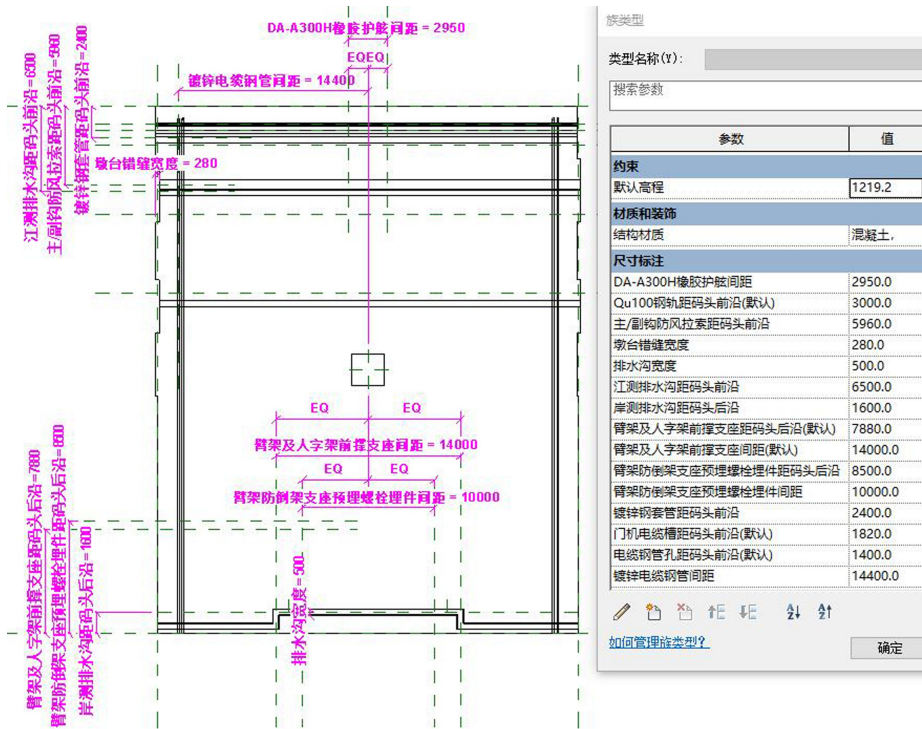


图 8 预埋件控制参数设定

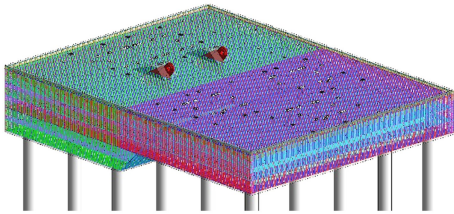
3.5 正向设计

采用 BIM 技术进行后拉锚承台部分的正向设计，整体思路是企业级构件标准族创建、多专业协同设计、全专业 BIM 合模、设计成果标准输出，并取得了良好的效果。基于创建的 BIM 精细化模型，完成企业级的标准出图、实物工程量的明细统计是 BIM 正向设计工作的重要组成部分。

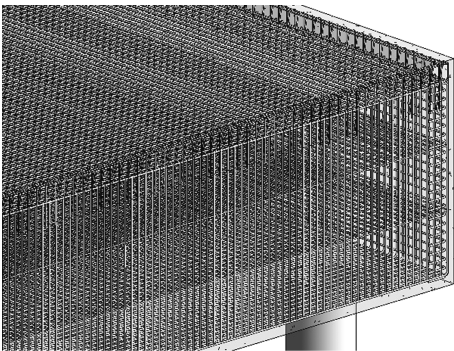
相比于传统的基于过程的二维 CAD 设计，面向对象工作模式下的 BIM 正向设计的改进工作主要体现在：1) 参数化族的应用实现图元信息的同步修改，减少了繁琐的人工修改，避免低级错误；2) 模型图元、基准图元及视图专用图元的企业级族库建设实现标准化输出，提高了设计输出的效率；3) 工程量明细统计功能全面、准确且高效，减少造价人员的繁琐统计工作。

以后拉锚承台的施工图配筋模型创建为例，钢筋种类为 14 个，数量多达 2 627 根。通过创建包括桅杆吊墩台 BIM 模型的 3 类图元标准化族，合计 103 个，完成后拉锚承台实体结构三维参数

化结构配筋(图 9)。正向设计工作模式下，二维出图将作为三维建模的附属工作，通过三维模型直接剖切获取，并保证了 BIM 正向设计成果的准确且高效的输出(图 10)。



a) 整体参数化配筋



b) 局部视图

图 9 后拉锚承台的三维实体结构配筋



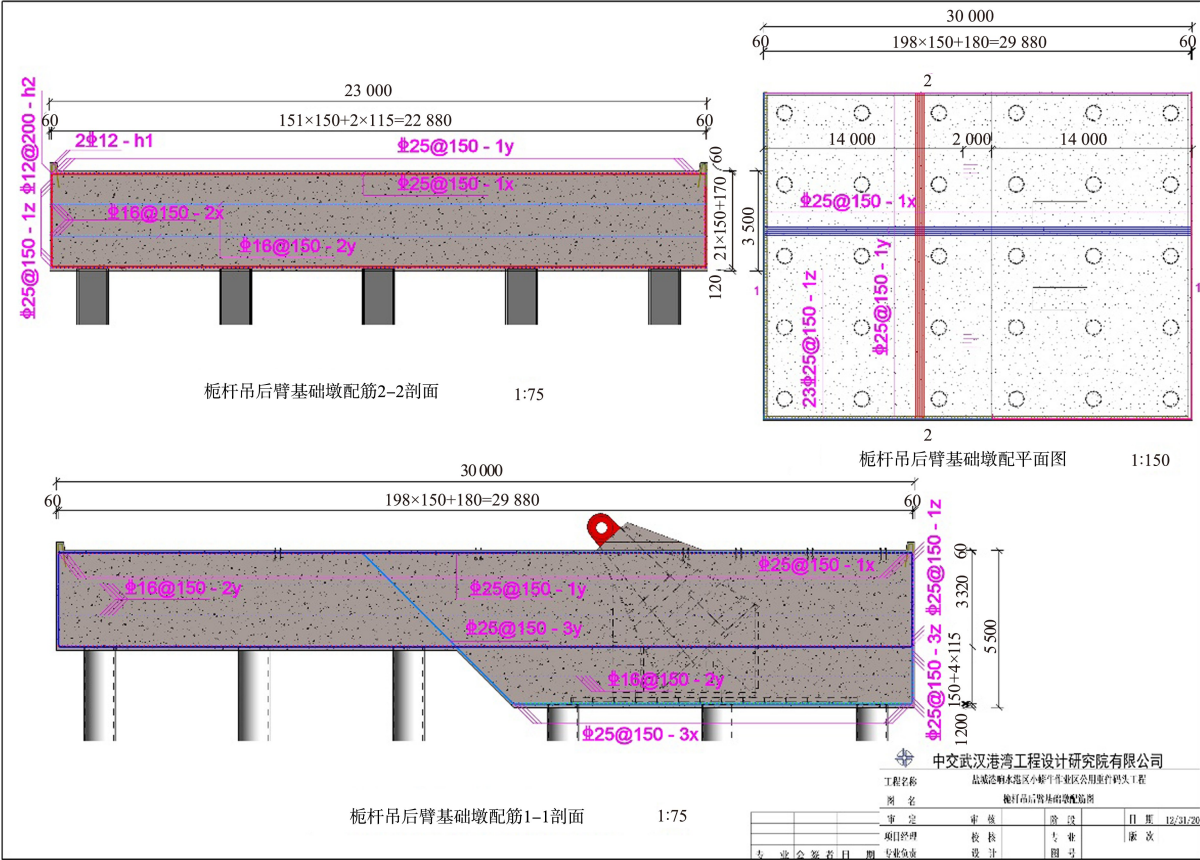


图 10 正向设计出图

4 结语

1)并行协同设计的应用弥补了传统设计过程信息共享不及时和不足,实现多专业间的配合从串行到并行设计的转变,缩短了设计链条长度,节省设计专业间的配合等待时间。

2)参数化三维协同设计,提高了墩台设计成果的表达精度,BIM技术的参数化联动特性系统地避免了诸如尺寸、高程平立剖视图不对应等低级错误,使有限的设计资源更多地投入到结构方案优化及技术创新的高质量设计中。

3)标准族库资源的积累及应用,是实现BIM技术正向设计、企业级标准化的基础工作。对于类似的勘察设计类工程项目,资源族库的模块化和参数化功能是其三维协同设计标准化建设的有益补充。

参考文献:

[1] 丁大志,陆晶晶.基于 Revit 二次开发的桶式结构防波堤快速建模 BIM 应用研究[J].中国港湾建设,2019,39(S1):37-42.

[2] 王飞,孙鹏,赵磊.基于 Autodesk 的堤坝 BIM 模型构建与信息化框架开发与应用[J].水运工程,2019(1):150-155,212.

[3] 李家华,陈良志,杨彪,等.三维地质模型在水运工程中的应用[J].中国港湾建设,2018,38(10):16-20.

[4] 阳柯.BIM 技术在客货滚装码头工程中的正向应用[J].中国港湾建设,2021,41(1):11-14.

[5] 牛作鹏,李国杰.基于 BIM 构建航道地形曲面模型的改进方法[J].水运工程,2019(7):188-192.

[6] 刘子璇,李世森.BIM 技术在重力式码头沉箱参数化建模中的应用[J].港工技术,2020,57(6):31-35.

[7] 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.

(本文编辑 郭雪珍)