

基于 BIM 的港口工程地下管线设计方法

李薇¹, 屠姗姗², 于水¹

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 上海中交水运设计研究有限公司, 上海 200092)

摘要: 针对目前以二维施工图为基础的港口工程地下管线设计存在的设计工具落后、各专业管线之间缺少协同工作、较难实现管线与地下建构物的碰撞校核等问题, 进行基于 BIM (Building Information Model/Modeling) 的港口工程地下管线设计方法的探索, 通过港口工程地下管线设计系统高效的模型创建能力、强大的交互功能, 实现直观模型碰撞点查询、实时的模型修改协调及地下管线二维出图, 为提高港口工程地下管线设计成果质量提供有效的手段。

关键词: 港口工程; 地下管线设计; BIM

中图分类号: U65 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2021) 09—0105—04

随着港口的现代化发展, 港区内的生产辅助管线分类日益精细, 管线总体数量明显增加, 地下管线设计难度相应加大。地下管线设计的任务是在总体平面及竖向设计中合理安排各种管线的路由、埋深、敷设方式, 协调各种管线之间 (尤其在交叉点) 及管线与地下建构物之间的矛盾, 使之符合各专业现行设计规范要求, 同时达到最大限度集约用地的目的。

目前, 港口工程地下管线设计大多仍停留在传统二维设计模式, 各专业管线之间缺少协同工作, 管线与地下建构物的综合也较难实现, 导致地下管线设计中始终存在碰撞问题, 后期设计变更频繁, 效率低下。BIM 技术具有强大的三维视觉优势, 因此, 有必要探索基于 BIM 技术的港口工程地下管线设计新流程、新方法, 使设计人员在设计过程中能直观、快速地进行判断, 并及时精确调整和优化设计方案, 解决上述管网综合设计的重要难题, 大幅提升设计效率和设计成果质量。

BIM 的核心是信息数据, 以数据驱动生成三维模型, 完成地下管线的虚拟形体创建, 能直观反映其拓扑关系^[1]。于贵书基于 Revit、Navisworks 平台建立管线 BIM 模型, 实现 BIM 技术在建筑工程地下管线设计阶段的探究与应用^[2]; 刘琳琳采用基于 BIM 的协同设计方式探索了青岛市某市政管线工程 3D 核心模型的创建与设计优化^[3]。但是, 现有的研究多集中在建筑工程、市政工程领域, 对于港口工程的地下管线设计较少涉及。因此, 本文针对港口工程特点, 对基于 BIM 的港口工程地下管线设计进行探索。

1 港口工程地下管线设计系统简介

1.1 系统架构

系统架构分析以确定系统各部分组成及定义为主要目的。基于 BIM 的港口工程地下管线设计系统架构自上而下分为三层: 参数层、方法层、目标层, 逐层递进以达到完成设计任务的目的。参数层为系统输入参数, 包括二维设计数据和构件干涉阈值数据。方法层为系统的模型构建体系, 通过二维设计数据, 基于 BIM 技术, 建立地形 TIN 模型、管井模型、管线模型及地下建构物模型, 经与构件干涉阈值数据进行耦合, 完成模型自身查验。目标层为系统的输出成果, 能完成模型实时碰撞点动态查询及修改协调, 最终达到完成二维设计出图的目的。该架构主要组成及每层设计内容见图 1。

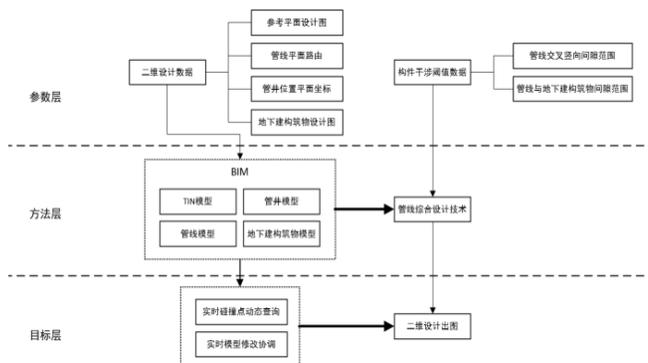


图 1 系统架构

1.2 系统开发框架

本系统基于 BIM 核心建模软件平台进行扩展, 选用插件模式完成港口工程地下管线设计系统的定制。系统界面采用 WPF (Windows Presentation Foundation, Windows 呈现基础) 的 MVVM 模式编写。开发框架见图 2。

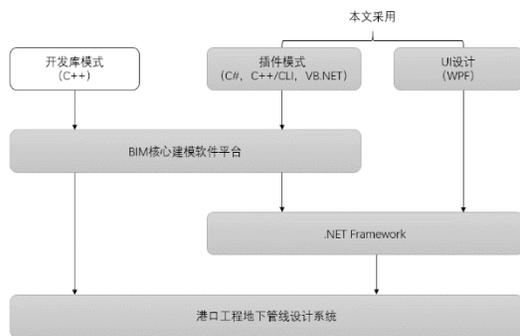


图2 系统开发框架

1.3 系统功能模块

基于系统架构及开发框架，将本系统划分为5个部分13个模块，具体见图3。

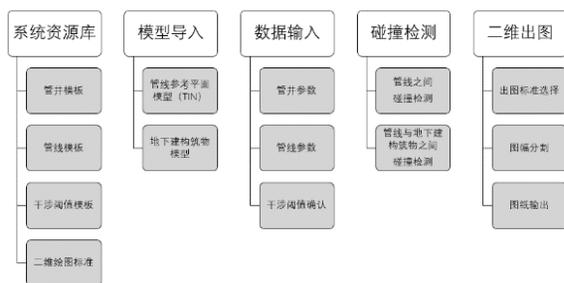


图3 系统功能模块

2 系统设计原理

2.1 建立数据库

选择系统应用平台、系统代码框架，进行逻辑结构及数据库等设计。通过建立关联数据库，可以建立二维设计数据与构件干涉阈值的关系，为地下管线设计的硬碰撞点及软碰撞点实时动态查询及修改协调提供数据结构基础。

2.2 建立港口工程管线参考平面模型及地下建构物模型

依据设计资料，在BIM核心建模软件中建立港口工程管线参考平面TIN模型及地下建构物实体模型。

2.3 建立港口工程管井及管线模型

港口工程管井及管线模型的建立需在模型数据结构基础上实现，模型数据结构通过面向对象方法的“类”的形式体现^[4]，包括：表面顶点、三角形边及三角形3种基本几何元素；管节点、管段、井室、井盖4种管线实体对象。

(1) 系统管线空间位置确定采用地下管网系统建设方法^[5]，原理如下：给定一任意点P可表达为 $P(x_i, y_i, z_i)$ ，设管线中心线起点坐标

$Ps(x_i, y_i, z_i)$ 、终点坐标 $Pe(x_i, y_i, z_i)$ ，管线有向线段记做 $\overrightarrow{P_1P_2}$ ，与x,y,z三个坐标轴正向夹角分别记做 α 、 β 、 γ ，这三个角即 $\overrightarrow{P_1P_2}$ 的方向角，其中 $0 \leq \alpha \leq \pi, 0 \leq \beta \leq \pi, 0 \leq \gamma \leq \pi$ 。将模型中相连的管线简化在同一xy平面，即 $z_1 = z_2, \gamma = 0$ ，管线的方向角 α 为：

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}$$

(2) 系统基于特征断面法对两条存在一定角度的管线生成弯管连接面，以圆形特征断面为例，原理如下^[6]：假设特征断面S，在空间坐标系中S的形状和位置可唯一地表示为 $S_i(O_i, r_i, n_i)$ ，其中 O_i 为S的圆心坐标， r_i 为S的半径， n_i 为S的法线方向。假设弯管连接的两个直管分别为 $PL_1、PL_2$ ，确定弯管弧段的起始点、半径、圆心、夹角等参数。

(3) 基于上述原理，搭建所有管节点及管段数据结构，完成相应港口工程管井、管线模型的建立。

2.4 实时碰撞点动态查询及模型修改协调

碰撞点动态查询是在已建立港口工程管线及地下建构物BIM模型的基础上利用系统功能对碰撞进行检测，并生成碰撞点模型标记及碰撞点统计报告，以利于设计人员对碰撞点进行及时消解。系统中考虑两种类型的碰撞问题^[7]：①硬碰撞：不同管线之间、管线与地下建构物之间发生重叠、交错；②软碰撞：不同管线之间、管线与地下建构物之间没有发生重叠、交错，但它们之间的距离不满足管线专业设计要求。

当硬碰撞或软碰撞问题出现时，系统按照港口工程常规设计原则^[8]进行处理：①压力管线避让自流管线；②小管径管线避让大管径管线；③可弯曲管线避让不可弯曲管线；④新建管线避让已建管线；⑤临时管线避让永久管线。

经系统自动完成模型修改协调后，如仍发现需调整的部位，需手动进行模型调整，最终达到满足地下管线设计要求的效果。

2.5 二维设计出图

完成港口工程管线BIM模型修改协调后，为进行下一步二维设计出图，设计人员需在系统内完成如下资源配置：①管井缩略样式；②管道线型样式；③管道交叉点平面标注样式；④管道显示样式；⑤图框样式；⑥图幅分割；⑦打印样式。其中：管线绘制格式、管网设

施简化图例等可自动显示在图纸中；管线交叉点高程标注等可通过批注功能进行一键生成，仅需在个别位置做适当调整即可；图幅分割、图框嵌套等可通过输入自定义分割绘图范围、选定系统内置图框进行确定；图签内容可通过在系统内填写项目工程信息、项目参加人员信息等资料后进行自动填写；最后，在图纸管理器中批量生成图纸，与出图系统相连接完成自动化出图。通过系统二维设计出图模块完成的出图工作，能节省效率低下的体力劳动，避免信息填报疏漏，提高设计产品质量。

二维设计出图流程见图 4。

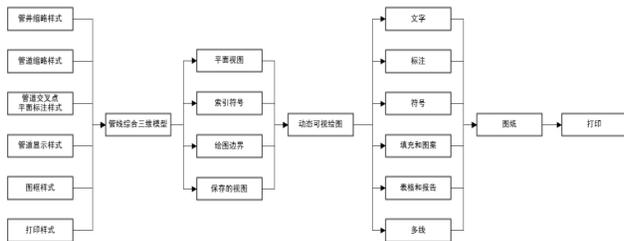


图 4 二维设计出图流程

3 工程应用

以某港口工程为例。该工程占地 29 公顷，管网综合设计涉及的管线种类包括雨水、污水、给水、消防、高低压电管等多种地下管线及冷藏箱架、灯杆、灯塔、消防泵、围网、轨道梁等建构物基础，各类管线布局密集且交叉频繁。

(1) 地下建构物模型建立。根据设计资料，使用 BIM 核心建模软件完成建构物基础的三维模型的建立。

(2) 地下管线参考平面模型建立及管井顶高程提取。根据设计资料，使用 BIM 核心建模软件完成地下管线参考平面 TIN 模型的建立，经与管井平面坐标耦合后求得管井顶高程。

(3) 管井及管线模型建立。从二维设计数据中提取管井编号、管井平面坐标、管井高度、管井旋转角度、管线编号、管线首尾连接的管井编号、管线首尾端点高程等信息后导入系统，并在系统中选取已录入的管井单元类型、管线型号、构件干涉阈值等参数，为管线模型建立做准备。

使用系统中模型构建向导，导入管井信息表格（以低压电井为例，见图 5），得到管井模型，见图 6。

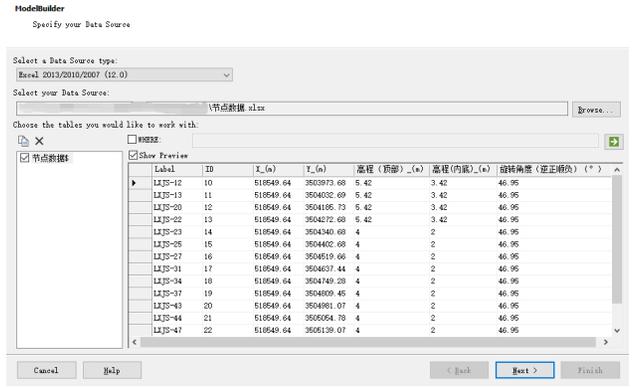


图 5 管井模型构建

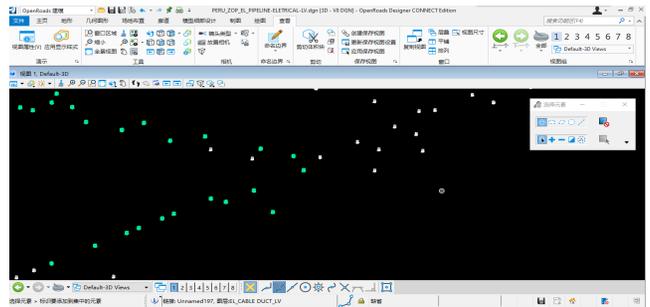


图 6 管井模型

使用系统中模型构建向导，导入管线信息表格（以低压电管线为例，见图 7），得到管井模型，见图 8。

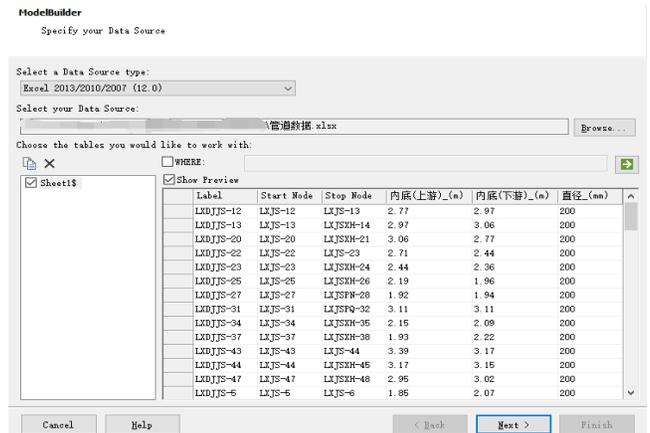


图 7 管线模型构建

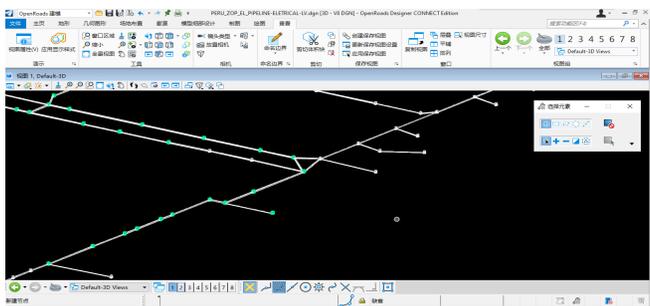


图 8 管线模型

(4) 模型组装。将地下建构物模型、管井及管

线三维模型进行协同装配,形成管线工程整体模型,见图9。

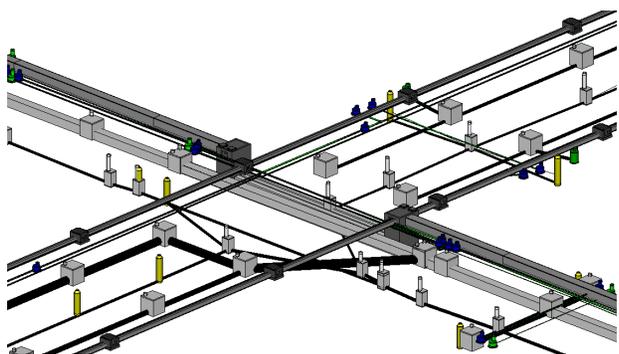


图9 工程三维模型

(5) 碰撞点动态查询及模型修改协调。利用系统碰撞点动态查询功能,对管线设计状态进行碰撞检测分析,见表1,共发现管线间碰撞点共计165处,其中硬碰撞51处,软碰撞114处;管线与建构筑物基础碰撞点共计203处,其中硬碰撞87处,软碰撞116处。通过模型自动及人工手动修改协调管线布局,消解所有管线碰撞,使管线设计间距满足现行设计规范要求,并确保最大限度集约用地。

表1 碰撞检测样表

序号	名称	碰撞点类型	碰撞规则	碰撞点位置
1	冲突1	硬碰撞	给水+轨道梁	518378.57, 3503237.94, 4.13
2	冲突2	硬碰撞	高压电+灯杆基础	518646.66, 3504027.46, 2.99
3	冲突3	软碰撞	雨水+低压电	518448.35, 3503671.52, 3.54
4	冲突4	软碰撞	消防+高压电	518550.81, 3503719.98, 3.10

(6) 二维设计出图。模型确认后,利用系统二维设计出图模块,完成本工程的地下管线设计平面、断面自动出图。

4 结语

(1) 本文是对港口工程地下管线设计工作模式的流程及方法的前沿探索,为管线模型的设计表达提供了一种新的技术途径。

(2) 基于BIM的港口工程地下管线设计系统,耦合二维设计数据和干涉阈值数据,快速生成符合港口工程现行规范要求的三维管线模型。系统设计步骤为数据结构录入、模型建立、碰撞点动态查询、模型修改协调及二维设计出图。

(3) 基于BIM的港口工程地下管线设计系统为设计人员精准及时地消解管线碰撞提供三维模型依据,弥

补了传统港口工程地下管线设计存在的设计工具落后、各专业管线之间缺少协同工作,较难实现管线与地下建构筑物的碰撞校核、设计效率低下等不足。

参考文献:

- [1] 杨懋德,陈江平. 地下排水管网自动化BIM建模研究[A]. 中国图学会建筑信息模型(BIM)专业委员会. 第六届全国BIM学术会议论文集[C]. 中国图学会建筑信息模型(BIM)专业委员会:中国建筑工业出版社数字出版中心,2020:6.
- [2] 于贵书. BIM技术在管网综合设计中的探究与应用[D]. 大连理工大学,2016.
- [3] 刘琳琳. BIM技术在地下市政管网工程全生命周期中的应用研究[D]. 青岛理工大学,2016.
- [4] 周京春. 地下管网三维空间数据模型及自动化精细建模方法研究[D]. 武汉大学,2016.
- [5] 陈子辉. 虚拟三维地下管网建模技术与实现[D]. 天津大学,2009.
- [6] 赖承芳. 三维建模技术及其在城市地下管网系统建设中的应用[D]. 中国地质大学(北京),2013.
- [7] 姚刚. 基于BIM的工业化住宅协同设计的关键要素与整合应用研究[D]. 东南大学,2016.
- [8] 交通部第一行务工程勘察设计院主编. 海港工程设计手册(上册)[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

