

基于 BIM 技术的航道抛填堤坝结构运算式设计方法

陆晶晶, 李文俊

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

摘要: 本文基于 Dynamo for Civil 3D 及 Dynamo for Revit 的可视化编程平台, 将 BIM 技术中可视化编程的运算式设计理念引入到堤坝结构设计中, 实现了航道抛填堤坝结构 BIM 设计建模、整体稳定计算、出图及工程量统计的一体化, 形成了一套切实可行的航道抛填堤坝结构 BIM 运算式设计方法, 实现了基于 BIM 技术的堤坝结构设计优化及设计效率的提高, 可供类似长线型工程 BIM 设计参考。

关键词: BIM; 堤坝结构; 运算式设计

中图分类号: U612.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 04—0061—04

堤坝工程平面布置一般呈长线型, 通常绵延数公里乃至数十公里, 沿程地形及地质条件多变, 传统二维设计无法实现对沿堤每一处断面进行精确设计, 往往采用典型断面法, 将沿程地形与地质条件相对一致的区域划分为一个分段, 通过每个分段内的典型断面来控制局部区域的变化, 设计准确度不高, 工程量统计不精确, 设计变更成本高。

BIM 设计相比于传统的二维设计, 具有结构准确、图模实时联动、直观明了等优势。随着 BIM 技术在水运行业的深入推广, 不少抛填堤坝结构开始了 BIM 技术应用的探索, 然而, 以 Autodesk 为代表的常规 BIM 设计软件的基本功能主要针对建筑及常规基础设施行业开发, 尤其是 Civil 3d 与 Revit 的交互存在一定的局限性, 只能显示图形, 不能调用数据, 导致了抛填堤坝结构常规 BIM 方法设计效率低, 某圈围工程堤坝结构 BIM 设计仅局限于 Civil 3D 软件, 尚未实现与 Revit 的联动, BIM 推广效果不佳^[1]。本文基于 Dynamo for Civil 3D 和 Dynamo for Revit 的开源可视化编程平台, 将运算式设计的理念用于航道抛填堤坝结构 BIM 设计中, 实现了基于 BIM 技术的堤坝结构设计优化及效率提高, 可供类似长线型工程 BIM 设计参考。

1 项目概况

本文依托工程为长江口南槽航道一期工程, 长江口深水航道整治是国家“九五”至“十三五”规划连续五期的重大工程, 长江口南槽航道为长江口航道体系中的重要组成部分, 一期工程治理目标是稳定南槽入口段河势, 遏制江亚南沙甬沟发展, 为长江口航道建

设提供稳定的边界条件。其中, 一期整治建筑物主体工程包括沿江亚南沙南缘向下游建设 1 条护滩堤, 以及护底、堤身范围的灯桩基础。护滩堤上游顺接长江口 12.5 米深水航道分流鱼嘴南线堤, 总长 15975m。上游段约 10km 长区段主体高程 +2.0 米 (上海吴淞零点), 中部约 5km 长区段主体高程 +1.5m, 下游段约 700m 长为 2.0m 厚护滩堤, 中部区段与下游区段之间设置 300m 长的过渡段衔接。

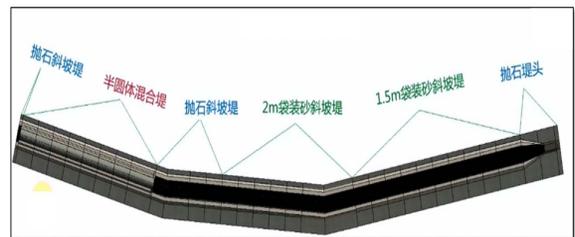


图 1 南槽航道结构分段图

本文选取袋装砂斜坡堤断面作为抛填堤坝典型结构进行 BIM 技术的深入应用研究, 堤顶高程 +2.0m、堤顶宽度按扭王字块体模数取 3.93m, 两侧边坡 1: 1.5, 采用 2t 扭王字块体护面, 堤身两侧设 6m 宽的 100~300kg 抛石护脚棱体。袋装砂堤心和护面之间设 10 ~ 100 kg 抛石和 100 ~ 200kg 垫层石。结构标准断面图如下:

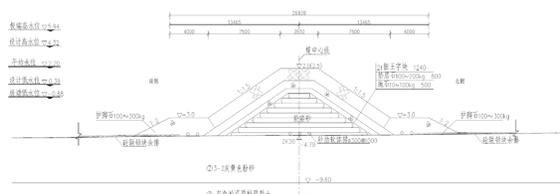


图 2 袋装砂斜坡堤结构标准断面图

2 设计思路

2.1 传统设计思路

抛填堤坝结构传统设计采用典型断面法,主要基于 Autodesk CAD 软件开展,属于二维设计,依托点、线、面等平面元素通过二维图纸表达设计方案,总体设计思路^{[2][3]}如下:

- (1) 根据规划方案确定堤轴线;
- (2) 依据水文、地质、地形等设计前提条件,设计合理的分段间距,对整体堤坝进行分段;
- (3) 依次对各个分段进行典型断面设计;
- (4) 各分段典型断面出图;
- (5) 各分段工程量统计及总体工程量统计。

主要存在问题^{[4][5]}如下:

- (1) 结构型式调整、勘察数据更新等设计条件变更会导致图纸的大规模返工,工作量巨大;
- (2) 易忽略对相邻分段之间地形、地质突变部分的设计,给实际施工造成困难;
- (3) 抛填工程量统计是堤坝设计的重要一环,每个分段内的工程量统计采用断面进行计算,人力成本高、精确度低;
- (4) 设计成果呈现效果不够直观,对设计交底工作要求高。

2.2 常规 BIM 设计思路

常规的 BIM 设计方法较传统二维设计的优势主要体现在三维可视化、工程量自动统计、自动出图等方面,对于抛填堤坝结构具体设计思路如下:

- (1) 在 Civil 3D 中建立三维地形、地质模型,设计堤轴线;
- (2) 依据水文、地质、地形等设计前提条件,设计合理的分段间距,对整体堤坝进行分段;
- (3) 采用 Civil 3D 部件编辑等功能模块依次对各个分段进行三维可视化典型断面设计;
- (4) 提取典型断面,基于 Civil 3D 软件自动出图;
- (5) 基于 Civil 3D 软件自动统计工程量。

从以上设计思路可见,完全基于 Civil 3D 的抛填堤坝结构常规 BIM 设计思路与传统二维设计思路并无本质的不同,主要是设计手段的差异,BIM 技术在设计阶段的价值体现主要依托 BIM 自身的固有优势:可视化、自动算量、自动出图,依然存在如下问题:

- (1) 仅仅是设计工具的升级,对设计人员的工程

经验依赖性较强,未从本质上辅佐设计决策;

- (2) Civil 3D 的设计成果无法导入 Navisworks 完成施工进度模拟、施工及维护信息关联等 BIM 设计全生命周期后续环节;

- (3) Civil 3D 设计成果三维展示效果不佳,与主流后期渲染软件的交互不友好,不便于设计交底。

2.3 BIM 运算式设计思路

一般航道类项目中,长线型的抛填堤坝结构分段往往有几十个,设计人员需要对这几十个分段逐一进行典型断面设计计算,耗费了大量的精力,运算式设计方法是通过 BIM 可视化编程的方式将 BIM 设计手段与设计相融合,充分体现 BIM 设计的高效、准确、直观,主要设计思路如下:

- (1) 在 Civil 3D 中导入勘察数据,自动建立三维地形模型,设计堤轴线;
- (2) 通过 Dynamo for Civil 3D 对堤坝整体自动分段,自动提取 Revit 设计所需要的数据,生成数据源 Excel;
- (3) 通过 Dynamo for Revit 读入 Civil 3D 数据源,在 Revit 中自动创建地形及轴线;
- (4) 进行抛填堤坝结构设计,通过设置参数的方式,完成堤身全部结构的 BIM 设计建模;
- (5) 通过设置约束条件的方式,自动提取每个分段的最不利典型断面,导出 DXF 文件;
- (6) 将 DXF 文件导入 Slide 软件中进行典型断面设计计算;
- (7) 提取典型断面,基于 Revit 软件自动出图;
- (8) 基于 Revit 软件自动统计工程量。

航道抛填堤坝结构 BIM 运算式设计将 Civil 3D 与 Revit 通过可视化编程的方式,实现了底层数据的互导,充分发挥了 BIM 不同软件各自的优势。

3 BIM 运算式设计方法

3.1 三维地形曲面自动创建

首先根据勘察得到的航道水深测图,提取得到水深点 Excel 文件,通过 Dyanmo for Civil 3D 可视化编程方式编写自动生成地形曲面程序,通过程序读取水深点 excel 文件数据,通过 X\Y\Z 坐标的形式,连接各点生成网格,最终形成三维空间内的曲面实体,程序运行示意如图 3 所示。

3.2 主堤堤身自动创建

在 Revit 中,常规的三维图元创建方式无法做到使生成的图元与地形表面贴合。为了符合实际堤身贴合自

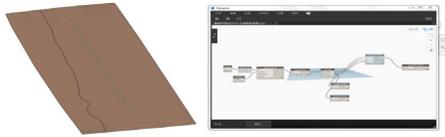


图3 三维地形曲面自动创建

然地形施工的情况，本文借助 Dynamo 中丰富的几何图形创建及编辑节点，编写了读取堤身设计参数，自动生成结合地形表面的主堤堤身程序。具体创建过程如下：

(1) 读取堤轴线起止点坐标 Excel 文件，生成堤轴线；

(2) 输入主堤堤身各层结构的设计参数，包括：各结构层顶标高、各结构层顶宽、各结构层堤身坡度、各结构层堤身放样底标高；

(3) Dynamo 运算生成主堤各结构层起止两端断面的两组节点坐标列表；

(4) 根据坐标列表生成主堤各结构层起止两端断面的自适应梯形断面，连接起止断面生成主堤堤身各结构层的初步模型；

(5) 将生成的堤身图元与地形表面进行布尔运算，切除地形表面以下的堤身实体，完成与地形表面贴合的主堤堤身各结构层的设计。

运行结果如下：

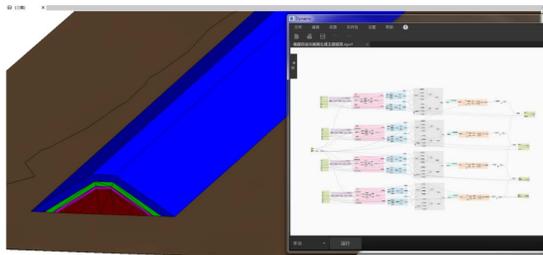


图4 主堤堤身自动创建

3.3 堤身两侧护脚石自动生成

堤身工程中，主堤堤身的高度以设计标高进行控制，而堤身两侧的护脚石起到稳定堤身坡脚的作用，需达到计算得到的抛填重量。护脚石的抛填重量在实际设计中以块石的抛填厚度来控制，故在起伏变化的自然地形上，护脚石的顶部高程也是变化的。因此，护脚石的设计思路不能沿用主堤堤身的设计思路。本文继续借助 Dynamo 在几何运算中的灵活性，设计了堤身护脚石自动生成的程序，具体过程如下：

(1) 输入堤两侧护脚石的设计参数，包括：护脚块石抛填最小厚度、护脚石顶宽、护脚石坡度、护脚石放样底标高；

(2) 将地形表面沿 Z 方向向上平移上一步输入的最小厚度值，求得其与主堤堤身外表面相交的三维曲线；

(3) 利用三维曲线运算生成护脚石起止两端断面两组节点坐标列表；

(4) 根据坐标列表生成护脚石起止两端两个自适应梯形断面，连接起止断面生成护脚石初步模型；

(5) 将生成的护脚石模型分别与地形表面及主堤堤身进行布尔运算取差值，完成与地形表面贴合的护脚石的设计。

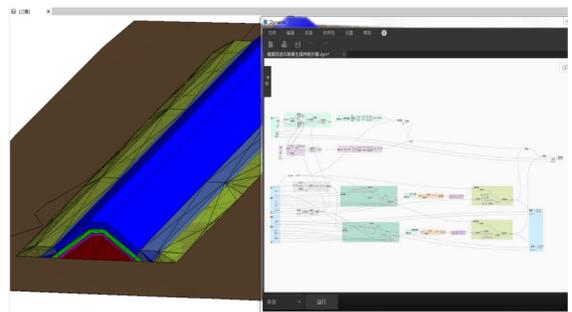


图5 堤身两侧护脚石自动创建

3.4 整体稳定计算

基于 BIM 的堤坝设计的一大优势在于：可以直观地看到整个底部地形及堤身的三维结构，方便设计人员确定各个分段中的典型断面，借助 Revit 中的剖面功能，将剖切得到的断面图导出为 DXF 格式，将其导入至土坡稳定分析软件 Slide 中，实现 BIM 设计与典型断面堤身稳定性计算的联动，使设计的结构更合理。本文依托工程的堤身结构整体稳定性分析结果如下图所示：

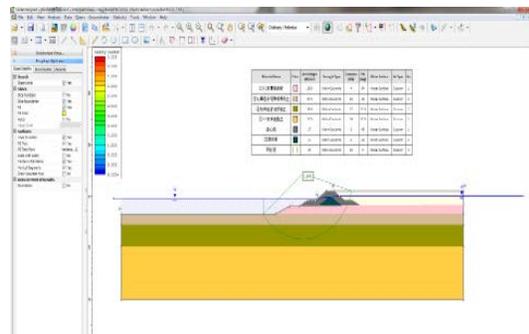


图6 整体稳定分析结果示意

3.5 自动出图

借助 Revit 中的剖面功能，可以在需要出图的位置直接建立剖面自动生成堤身断面图，同时堤身结构或地形表面更新后，断面图也会自动更新，避免了传统

圆筒型 FPSO 湿拖缆布置方案选型

徐勤宇¹, 郭磊¹, 李啟宝¹, 曾红能²

(1. 海洋石油工程股份有限公司, 天津 300451; 2. 能威(天津)海洋工程技术有限公司, 天津 300392)

摘要: 本文以 Sevan 400 型 FPSO 为计算原型, 设计圆筒型 FPSO 湿拖过程中湿拖缆布置方案, 并进行了动态计算分析, 考虑迎流和顺流两个工况, 每个工况中波浪和风考虑间隔 45° 角的五个典型方向。相关计算结果表明, 按照设计的湿拖缆布置方案, 湿拖缆承受载荷满足设计要求。

关键词: 湿拖; FPSO; 动态分析

中图分类号: U698 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 04—0064—03

浮式生产储卸油装置(简称 FPSO), 它兼有生产、储油、卸油的功能, 一般与水下采油装置和穿梭油船组成一套完整的生产系统, 是目前海洋工程船舶中的高技术产品。近年来 FPSO 市场十分兴旺, 世界各大船厂都

纷纷加入到 FPSO 建造大军中, 竞争十分激烈。

按其设计结构形式, FPSO 可分为以圆筒型为代表的回转体型 FPSO 和普通船型 FPSO 两大类型。回转体型 FPSO 是相对新型的结构形式, 自 2005 年第一艘

二维设计中断面出图工作冗余重复的情况。Revit 剖面生成的堤身断面图如图 7 所示:

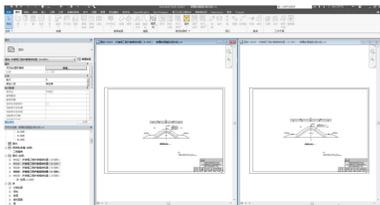


图 7 抛填堤坝结构 Revit 自动出图示意

3.6 工程量自动统计

传统典型断面法中, 分段工程量统计依据相应的典型断面设计方案进行统计, 统计方法是将各个断面中堤身的横断面积乘以分段里程长度, 这一方法统计的结果忽略了地形表面沿程的变化, 既无法实现工程量的精确统计, 又耗费了大量的人力成本。采用 BIM 运算式设计方法建立堤身后, 通过对各结构层的材质进行区别设置, 可以基于 Revit 实现各材料工程量的自动统计。同时, 由于 BIM 设计的堤身为三维实体, 其结构底部沿程处与自然表面相贴合, 故自动计算得到的方量值相比于传动的断面法来说更为精确。当模型因为结构改变或地形数据更新而产生变更时, 工程量会同步自动更新, 无需任何人为操作。

本文通过 Civil 3D、Revit 及其相应的可视化编程平台 Dynamo, 实现了堤坝结构的三维运算式设计。形成以 BIM 技术为核心的航道抛填堤坝结构 BIM 设计建模、整体稳定计算、出图及工程量统计一体化流程。将 BIM 技术中可视化编程的运算式设计理念引入到堤坝结构设计中, 不再采用近似的典型断面法, 而是直接采用基于实际地形的 BIM 结构设计方法完成堤坝结构的设计、分析及出图算量流程。同时各个设计环节的数据相互关联, 一变俱变, 切实提高了航道抛填堤坝结构的设计效率。

参考文献:

- [1] 王飞, 孙鹏等. 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.
- [2] 李正, 李锐等. BIM 在堤坝工程设计中的应用 [J], 水运工程, 2019 11: 139-143.
- [3] 邢桂杰. BIM 技术在航道整治工程中的应用研究 [J], 工程技术, 2019 46 (16): 115-117.
- [4] 王鹏, 杨建东. BIM 技术在新九河段航道整治二期工程设计中的应用 [J], 水运工程, 2018 9: 21-24.
- [5] 袁立莎. BIM 技术在航道整治工程中的应用研究 [J], 港工技术, 2016, 53(4): 20-24.

4 结论