

BIM 技术在地下污水厂结构设计中的应用

王子豪

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:随着 BIM 技术的发展,给排水构筑物设计不断尝试把 BIM 技术运用到实践中。萧山钱江污水处理厂四期扩建工程位于浙江省杭州市萧山钱江农场,设计规模 40 万 m^3/d ,是一座半地下箱体式污水处理厂。结构设计人员就 Revit 软件中建立的三维模型,结合 YJK 软件,探索地下厂构筑物结构计算,证明了地下厂项目利用三维模型整体计算的可能性。

关键词: BIM; Revit; YJK; 地下污水厂; 结构计算

中图分类号: TU923

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)07-0252-06

0 引言

随着 BIM 技术的发展,给排水构筑物设计不断尝试把 BIM 技术运用到实践中。萧山钱江污水处理厂四期扩建工程位于浙江省杭州市萧山钱江农场,设计规模 40 万 m^3/d ,是一座半地下箱体式污水处理厂,设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,采用 AAO+ 深度处理工艺。箱体内处理单元众多且布置紧凑。本项目通过 BIM 模型的设计,使复杂单元直观化和可视化,设计缺陷更易发现。借项目之际,结构设计人员利用 Autodesk Revit 2016 软件中建立的三维模型,探索结构专业的 BIM 正向设计。

近几年,BIM 正向设计的应用越来越广泛,许多结构工程师同仁都对结构正向设计进行了探索和研究。赵华英^[1]探索了结构专业在 BIM 设计工作中的流程。张吕伟^[2]研究了 Revit 平台在国内构筑物三维设计中的优缺点。赵科军等^[3]基于 Revit 三维模型进行正向设计,对构筑物采用 Revit 与 Autodesk Robot Structural Analysis 相结合的方式有限元分析,对于房屋结构联动 PKPM 或 YJK 进行结构计算。李双双^[4]基于武汉地铁 5 号线杨园站利用 Revit-YJKS 插件,导入到 YJK 中,生成计算模型,进行三维有限元分析。董爱平^[5]基于 Revit 结构平法表示进行了研究,证明了 Revit 中平法标注的可能性。陈晓晨等^[6]

在上海市中心城区排水项目中探索了 BIM 技术在给排水领域运用的特性和优势。

综上,当前在给排水领域,结构设计的正向探索还相对不足,尤其是地下厂构筑物。基于地下厂项目管线复杂、专业众多,本项目使用 Revit 建三维模型,有利于协同设计且能避免不必要的碰撞错误。本项目 BIM 信息模型采用 Revit2016 版建立,建立的模型导入 YJK(v3.0.2)中进行计算。运用 YJK 中的桩基计算、板有限元计算和梁板柱计算,局部工况复杂或者高度不规则的板导入 Robot2016 软件中单独计算。计算模型的拆分以后浇带的布置为准。

1 工程概况

随着萧山城市规模的不断扩大及经济的不断发展,萧山区的污水量增长较快,进入萧山钱江污水处理厂的污水量越来越大。基于萧山钱江污水处理厂的运行压力和国家对环保的高要求,需对钱江污水厂进行扩建。萧山钱江污水处理厂四期扩建工程东接钱江厂现状厂区,北抵钱农东路,南邻杭甬高速,占地约 9.87 hm^2 ,约 148 亩,设计规模 40 万 m^3/d ,是一座半地下箱体式污水处理厂。

箱体可大致分为两层,上层为操作层,下层为水池层。水池区域分为五个部分:预处理区、生物反应池区、二沉池区、深度处理区以及污泥处理区,如图 1 所示。

本工程 BIM 模型遵循《建筑信息模型设计交付标准》(GB/T 51301—2018)中的表 4.2.2,模型精细度 LOD3.0。按照统一的建模规则,经过 Revit 建模后,拼装得到如下模型,如图 2 所示,并在该模型的基础上进行结构计算的探索。

收稿日期:2022-08-29

基金项目:上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司项目,地下污水处理厂抗震关键技术研究(K2019K072)

作者简介:王子豪(1991—),男,工学硕士,工程师,从事结构设计工作。

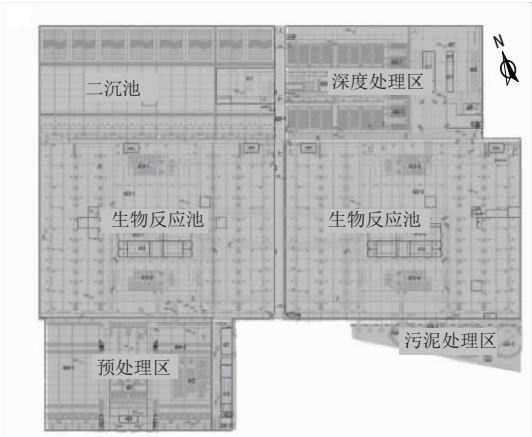


图 1 地下厂总图

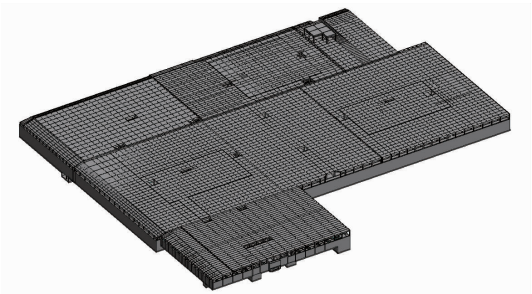


图 2 地下厂 Revit 建模

2 结构计算

2.1 结构建模

2.1.1 建模内容及要点

结构专业参数化建模的内容为底板对应 Revit 中的楼板族,水池池壁对应墙族,梁、柱对应结构梁、柱族,桩基对应结构基础族。

在建模中须注意如下几点:

- (1)在建模构件时勾选族属性菜单中结构的选项,以便后续 YJK 和 Robot 分析的导入。
- (2)墙族须附着在顶板下,可通过插件批量附着。

2.1.2 建模过程

以萧山四期的深度处理区域为例,首先结构设计人员在工艺设计人员提供的模型基础上,完善结构构件:

- (1)初步计算水池池壁、底板、顶板壁厚;
- (2)根据预留洞口和管线位置,合理布置梁和柱的位置;
- (3)根据上部结构,布置底板桩基。

在估算池壁壁厚中,利用 Revit 与 Robot 计算软件的内部链接,把最不利位置的池壁和底板导入到 Robot 中进行试算,从而确定泵房池壁和底板厚度以及外挑长度。考虑泵房的两种工况,其一外水土工况,池外有土池内污水;其二内水土工况,池内有水池外无土。在 Robot 中添加这两种工况的荷载以及相

应的约束,而后进行计算。根据所得的弯矩彩图,估算壁厚是否合理。根据估算得到的壁厚,修改模型。流程图见图 3。

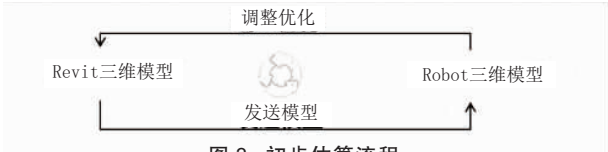


图 3 初步估算流程

最终所得的模型如图 4 所示,以此模型作为后续结构计算模型。

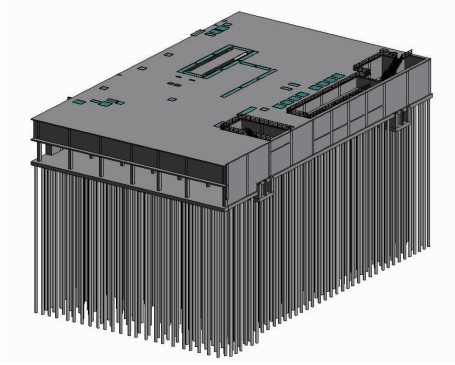


图 4 深度处理区域结构专业建模

2.2 YJK 计算

2.2.1 模型导入

通过 Revit 中的 YJK 插件接口,对 Revit 中的不同构件族进行截面匹配,见图 5。进行匹配后,生成 YJK 能读取的“.ydb”文件,见图 6。通过 YJK 软件对 Revit 接口,导入 YJK 软件,生成“.yjk”模型,见图 7。

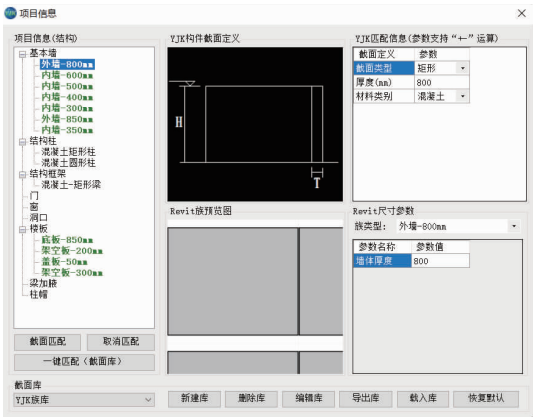


图 5 截面匹配

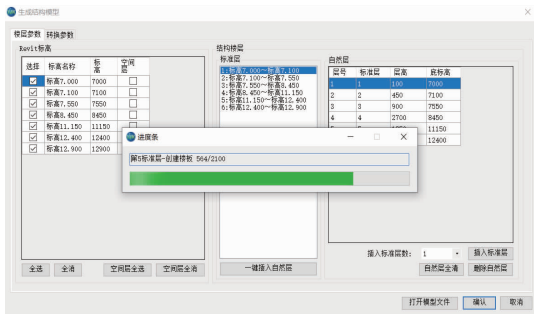


图 6 Revit 模型转换



图 7 YJK 模型导入

导入的模型梁、板、柱以及池壁均全部生成计算模型,模型见图 8。杨党辉等^[7]曾探索过结构数据在不同软件间的数据转换,指出转换后的模型约束会存在一定的问题。笔者在转换完模型后发现,在建模精确的前提下,大部分的节点生成符合计算要求(见图 9),少量的节点导入后需要手动检查各梁柱墙节点是否正确,并根据需要手动修改(见图 10,柱墙节点存在错位偏移),否则在 YJK 分析和计算时会报出约束错误或者梁悬空等错误。针对这一问题,现阶段设计人员只能手动修改。错误多发生于较多构件交错处。值得一提的是,部分细部构件不建议直接导入,例如电缆沟、排水沟等,建议在导入前,对 Revit 模型进行一定的精简,并在 YJK 模型中,折算成线性荷载布置在相应的梁板下。

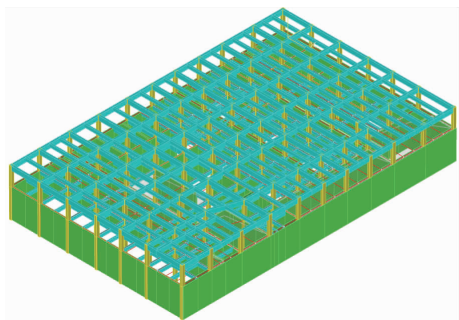


图 8 YJK 模型

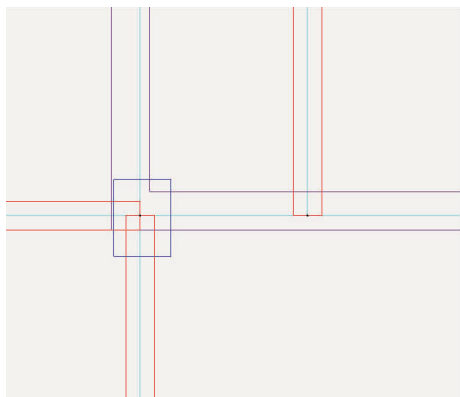


图 9 正确的结构模型节点

2.2.2 荷载布置

水池顶板及上层箱体顶板荷载按照实际情况增

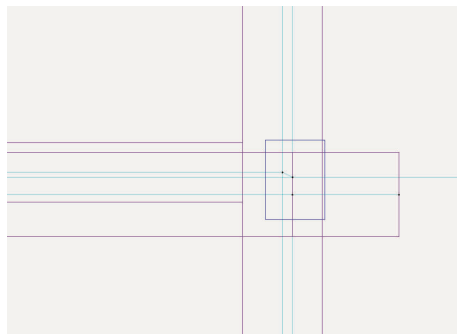


图 10 错误的结构模型节点

加面荷载。水池池壁定义水池荷载,见图 11,并作用在外池壁处。水池受力内池壁定义墙面外水平梯形荷载,见图 12。将内水荷载布置到池壁上,见图 13。

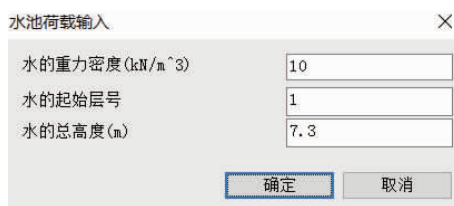


图 11 外池壁内水荷载定义

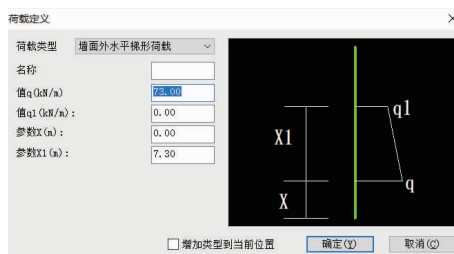


图 12 受力内池壁内水荷载定义

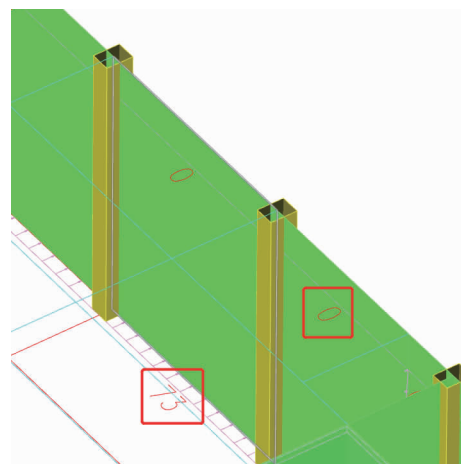


图 13 池壁布置内水荷载

水池外水土荷载同样按照墙面外水平梯形荷载布置在相应池壁上。荷载布置完毕并按照设计规范调整相应参数后,进行模型计算。

2.2.3 计算结果

计算完成后,得到水池池壁有限元计算结果和梁板柱配筋结果,水池池壁弯矩云图见图 14。

本项目对 YJK 得出的模型结果与传统有限元单

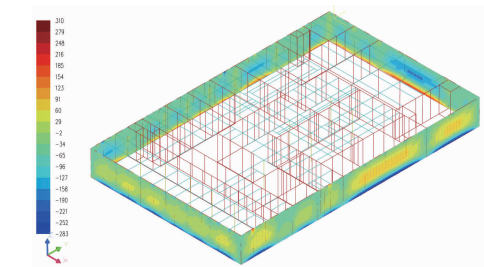


图 14 弯矩内力云图(单位: kN·m/m)

池壁计算进行比较,选用的传统有限元软件为 Autodesk Robot Structural Analysis 2016。取池壁 A(位置见图 15)作对比。通过对池壁 A 单池壁建模计算,得到池壁 A 在外水土工况下有限元弯矩云图,见图 16,与 YJK 整体建模得出的外水土工况下内力计算结果进行比较,见图 17。表 1 列出池壁 A 跨中水平和竖向弯矩 M_x 、 M_y ,支座水平和竖向弯矩 M_x^0 、 M_y^0 进行比较,并针对弯矩按裂缝控制 0.2 mm 的要求,进行配筋。其中混凝土选用 C30,钢筋采用 HRB400。

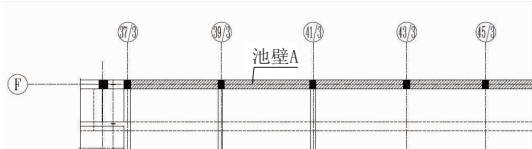


图 15 池壁 A 示意图

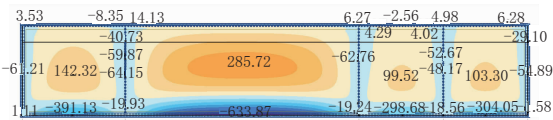


图 16 Robot 弯矩内力云图(单位: kN·m/m)

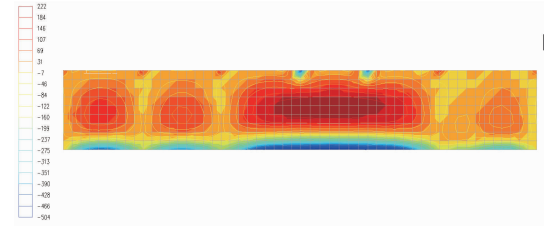


图 17 YJK 弯矩内力云图(单位: kN·m/m)

表 1 模型计算结果对比

	YJK 结果 / [(kN·m)·m ⁻¹]	配筋	Robot 结果 / [(kN·m)·m ⁻¹]	配筋	弯矩 减小量
M_x	118	18@150	127	20@150	7%
M_x^0	241	16@100	332	18@100	27%
M_y	222	20@150	286	22@150	22%
M_y^0	504	22@100	634	25@100	21%

由表 1 可知,YJK 整体建模得出的水池池壁计算结果,在相同构件在相同工况下,得益于三维计算的整体协调,有限元的计算结果均有减小。反映在配筋计算上,当强度和裂缝均满足规范要求时,水平和竖向钢筋均减小了一档。因此,运用 YJK 进行三维整

体计算,方法可行,且能一定程度地节约工程造价。

2.2.3 底板计算

由于地下厂构筑物埋深较深且高低起伏较多,考虑不均匀沉降和抗拔要求,地下厂普遍都采用桩基大筏板的基础形式。传统计算上,底板建模较为繁琐复杂。运用 YJK 的基础设计模块,能大大提高设计的效率和精确度。

当调整好上部结构后,只需读取上部结构,定义抗压和抗拔桩,批量赋予后,就能得到基础的计算模型,对应构筑物则是底板和桩基的计算模型,见图 18。在此基础上,定义筏板厚度,添加筏板荷载,设置相关参数后,进行基础计算及结果输出。通过计算后得到的板有限元弯矩图(见图 19),结构设计人进行配筋计算、冲剪局压验算、抗浮稳定验算、桩基抗压抗拔承载力验算等。

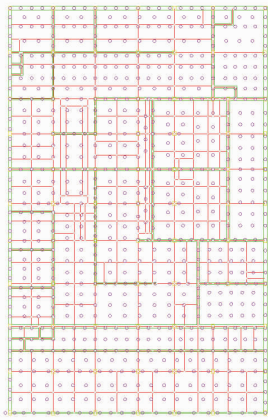


图 18 YJK 基础计算模型



图 19 YJK 底板弯矩云图(单位: kN·m/m)

综上,对于复杂多层水池构筑物,YJK 三维计算结果优势显著:

- (1)一键生成计算模型,简单高效;
- (2)上部竖向导荷考虑周全;
- (3)桩基验算合理,免去统计上部荷载的人工计算;
- (4)后续抗冲切等计算一并生成;
- (5)便于后续上部结构修改后对应修改,减少设

计错误。

值得一提的是,有别于传统计算(Robot 计算结果见图 20),YJK 底板计算中,桩基的约束作用不明显,在内水工况下,得到的云图更偏向于弹性地基板的计算模型。笔者建议,配合 Robot 无梁楼盖有限元模型,两者结果取包络配筋设计。

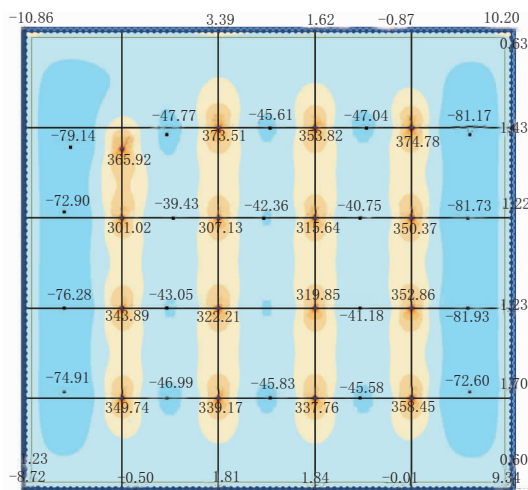


图 20 Robot 底板弯矩云图(单位: $\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)

2.2.4 小结

在萧山四期运用 BIM 技术进行结构计算后,得出以下结论:

(1)对于 Revit 的建模精细度不必过细,完成初步设计的模型即可作为结构计算模型;

(2)YJK 对于 Revit 模型的导入和生成,现阶段已经非常成熟,具有可行性;

(3)相较于 Robot 有限元计算,YJK 池壁计算得出的结果更为经济合理;

(4)对于大体量的地下厂模型,整体建模计算能更充分地考虑竖向导荷;

(5)底板设计时,YJK 整体计算更为高效方便,并可以和 Robot 配套复核使用。

3 应用优缺点与展望

3.1 应用优缺点

本项目结构设计人员基于结构设计来探索结构专业利用三维模型的优势,有别于一般建筑结构,BIM 技术在给排水领域的结构设计中能更好地运用。

(1)结构计算的效率提升。给排水构筑物传统设计时需要在 Robot 或 ANSYS 等有限元软件中按池壁形状建模计算。在建模的便利度上,Revit 更加友好,建模的效率提升显著,且能复用工艺专业初步建立的模型进行有限元计算并优化,大大节省了工作时间。

(2)构筑物顶板计算更合理。不同于传统污水厂的顶板设计,地下厂构筑物的顶板一般用作人员操作层和设备放置层,荷载分布更为复杂。BIM 设计能提高地下厂顶板计算的准确性,减少设计差错。

(3)地下厂分工协同更准确。传统地下厂设计更倾向于按不同工艺流程来划分工作面。这种工作划分往往造成水池部分和箱体部分的设计人员缺乏沟通协调、交接混乱等问题。通过运用 BIM,设计人员可以按照不同区块来划分设计界面,减少设计纰漏。

不过在运用的整个过程中,仍存在如下几点问题,需要后续软件的优化和改进。

(1)Revit 建立的模型需要精简。对于构筑物,存在管廊、排水沟、电缆沟等细部构件,此类构件不宜直接转换成结构计算模型。

(2)转换的结构模型,局部节点需要人为手动调整,并不能完全自动化。

(3)结构模型的复用问题。由于结构计算模型与实际模型本身就会存在差别。经过结构计算调整的模型,能否复用到其他平台,还有待后续研究。

(4)三维模型的校审问题。传统设计校审的圈画错误、文字批注等形式在 BIM 设计中存在一定的障碍。

(5)正向设计出图问题。BIM 设计从模型展示到真正运用到施工的过程中,出图问题一直是其中的最大瓶颈。

3.2 展望

针对模型复用、模型校审和正向出图的问题,笔者进行了思考和实践,探索一定的解决方案。

3.2.1 模型复用

李佳吟、邓雪原^[8]探讨过 BIM 模型的复用方法和价值。方法为转化成 IFC 格式,并通过了准确性和一致性的检验。本项目有半地下箱体特殊性,不具备后续项目初设施工图阶段使用的泛用性。故对其进行轻量化缩减,根据《建筑信息模型设计交付标准》(GB/T 51301—2018)中表 4.2.2 要求,将模型精度控制到 LOD1.0 项目级模型单元精度,以便后续项目在项建书和工可阶段进行简单的使用。而对于箱体配套的单体,如污泥浓缩池(见图 21),可进行施工图的模型复用。后续项目新增了几个相似的浓缩池,当水池直径相同时,均复用此模型。

3.2.2 模型校审

冯楚雪^[9]基于模型校审,得出 BIM 项目中,检查的方法有:(1)整体模型检查;(2)标准检查;(3)碰撞

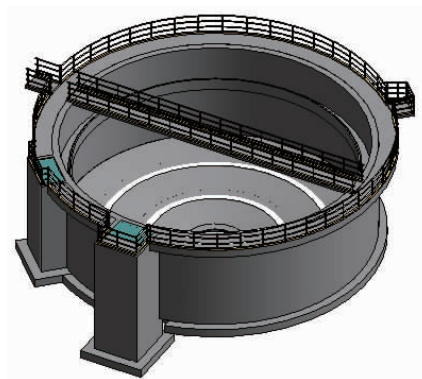


图 21 污泥浓缩池模型图

检查;(4)构件信息检查。这四项检查在本项目中都由 BIM 设计负责人统一协同完成。单体设计的检查工作,在 Autodesk Navisworks Manage2016 中进行。校核人员将单体模型导入到 Navisworks 后,生成“.nwd”格式的文件,并进行批阅。设计人员接到文件后,能在列表中看到图纸错误并进行响应(见图 22)。

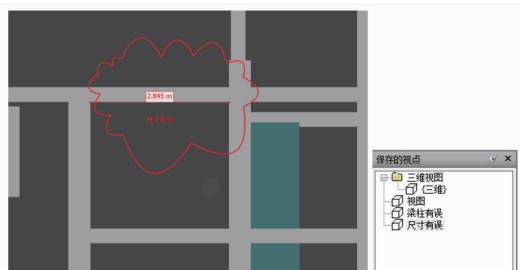


图 22 模型校核图

3.2.3 正向出图

根据董爱平^[5]的研究,后续结构平法施工图出图也具有可能性,但实践下来操作繁琐,不易推广使用,正向出图建议专门进行二次开发。近几年,GSRevit 这款插件具有一定的可行性。吴文勇等^[10]对基于 Revit 二次开发的此插件进行了工程探索,能更好地在平法施工图和板原位标注图等图纸中进行施工图的表达。而对于构筑物部分,笔者也进行了探索,调研了武汉意和 InteRDS 平台。该软件是基于工业化建模软件进行开发的配筋软件,可以根据设计人员的剖面位置,进行配筋图的自动绘制(见图 23)。但由于软件还不是很成熟,转化的出错率高,目前还不具备大范围应用的可能性。

4 结论

本文通过萧山四期项目,探索 BIM 技术对结构专业的应用,所得结果运用到施工图设计图纸中。总

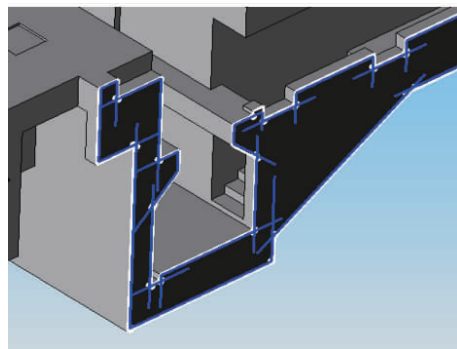


图 23 InteRDS 生成配筋图

结 BIM 技术在地下厂构筑物结构设计中的应用,得出以下结论:

(1)Revit 生成的结构模型,经过简单修正后,能运用到结构计算中。

(2)整体建模后,得出的结果更经济合理。

(3)数据转换、模型复用、模型校审和正向出图仍是需要重点研究的问题。

随着配套软件的不断发展,BIM 技术不仅只局限于碰撞检测、动画展示等用途,结构专业利用 BIM 技术所带来的红利,优化设计、提升效率也日渐可行。相信在不久的将来,运用的局限性会大幅降低,提升设计效率,发挥 BIM 技术的优势,为项目建设注入新动力。

参考文献:

- [1] 赵华英. BIM 结构设计应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2015, 7(3): 30-39.
- [2] 张吕伟. 基于 BIM 技术构筑物三维设计[C]. // 第十五届全国工程设计计算机应用学术会议论文集, 2010: 319-323.
- [3] 赵科军, 张素梅. 基于 Revit 的结构正向设计应用研究及案例分析[J]. 价值工程, 2021(20): 174-176.
- [4] 李双双. 基于 Revit 的结构施工图正向设计流程探索与突破[J]. 铁路技术创新, 2021(1): 44-49.
- [5] 董爱平. 基于 Revit 的结构平法施工图运用研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2015, 7(1): 44-48.
- [6] 陈晓晨, 谢宇铭, 陶晋源. BIM 设计在市政泵站总承包项目中的应用[J]. 净水技术, 2018, 37(s2): 114-117.
- [7] 杨党辉, 苏原, 孙明. 基于 BIM 技术的结构设计中的数据转换问题分析[J]. 建筑科学, 2015, 31(3): 31-36.
- [8] 李佳吟, 邓雪原. 基于 BIM 的建筑空间管理信息复用方法[J]. 土木工程与管理学报, 2021, 38(2): 169-173.
- [9] 冯楚雪. 基于 BIM 的建筑结构设计流程管理研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2016.
- [10] 吴文勇, 焦柯, 童慧波, 等. 基于 Revit 的建筑结构 BIM 正向设计方法及软件实现[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 10(3): 39-45.