

水闸工程 BIM 深度建模与可视化

张璇

(2024214890 海洋工程学院 土木水利)

选题背景

某水闸工程由排涝闸和排涝泵站组成，采用平行并列布置的方式，其平面布置图如图 2-1 所示。闸站上游共用引河，两侧设置直立扶壁式挡墙与上游河道相连接，下游与滩内水库相连。主变室、高低压室、值班室等设置在站身一侧控制楼内，按电气专业要求设置为三层。该工程防洪标准为 50 年一遇，排涝标准为 20 年一遇，调度运用原则需满足防洪、排涝要求，除了抵御外江洪水之外，水闸另一功能即为调节内部河道景观水位。预计建设工期为 13 个月，所需的建筑材料主要包括混凝土、土料、块石、砂、碎石料等。该工程防洪标准为 50 年一遇，排涝标准为 20 年一遇，调度运用原则需满足防洪、排涝要求，除了抵御外江洪水之外，水闸另外一个功能即为调节内部河道景观水位。

建筑设计施工图纸是全球通用的工程语言，是设计方与施工方至关重要的沟通桥梁。计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）绘图代替手工绘图后，极大推动了建筑行业的发展进程。随着我国基础设施建设的飞速发展，建筑工程的规模越来越大，结构形式越来越复杂，施工图纸大量增加，较抽象的二维图纸常常超出人们的认知习惯，不能将工程的诸多信息直观表达，甚至错误表达，从而降低工作效率，影响工程整体进展。

针对传统 CAD 问题，建筑信息模型（Building Information Modeling, BIM）技术可以提供有效的解决方法。该技术是以三维数字信息为基础，将项目的几何信息、非几何信息以及功能特征集成在一个可视化的多维 BIM 模型平台中，通过该模型平台，实现项目从规划、设计、施工到运营管理等全过程的信息数据集成，实现不同设计专业在同一环境平台下的建模与分析。BIM 作为信息储存和工程管理的载体，当设计发生变更时，不同专业可以实现即时信息交流，通过建模演示对资源进行多方面调整与改动，不仅保证预算的精准估计，也极大地提高项目设计及管理效率，从而优化工程整体质量。

水闸作为一种重要的水利工程，具有投资大、生命周期长、涉及面广以及信息类型复杂等特点，将 BIM 技术应用于水闸的建设和管理中，也是必然的发展趋势。采用 BIM 协同设计理念，通过梳理工程项目在不同实施阶段之间，以及同一阶段不同任务之间各参与方的信息交互内容，构建一种以业主为主导、项目参建各方共享、共同受益的 BIM 全生命周期协同模型。该技术在项目规划阶段即可开始介入，在设计阶段充分发挥优势，有效指导施工，提升工程建设质量和效率。随着计算机技术的飞速发展，水利行业走向信息化进程的步伐逐渐加快，有必要提高 BIM 技术在水闸规划、设计、施工及运行管理等阶段的应用。

研究内容

目前该水闸工程施工图纸绘制工作已基本完成，包括桩基布置图（图 1）、闸站结构布置图（图 2）、水闸闸室断面图（图 3）等，现拟通过建立本项目的 BIM 模型并开展协同设

计分析，指导施工。

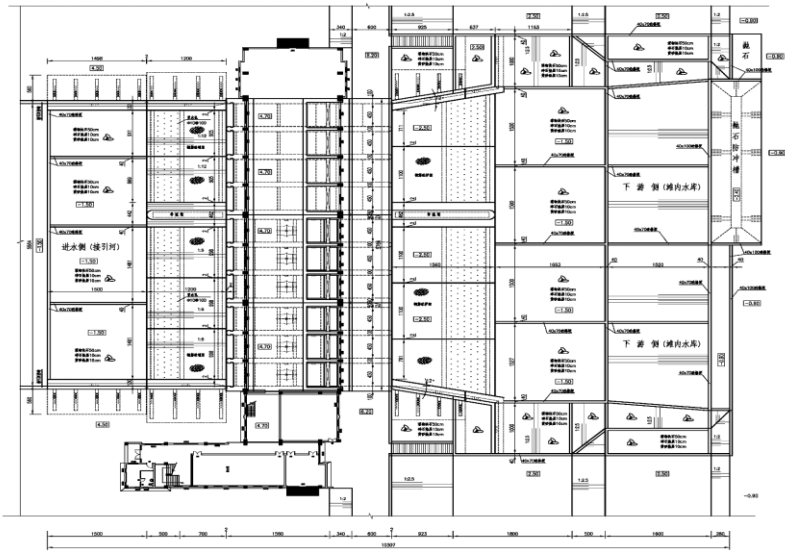


图 1

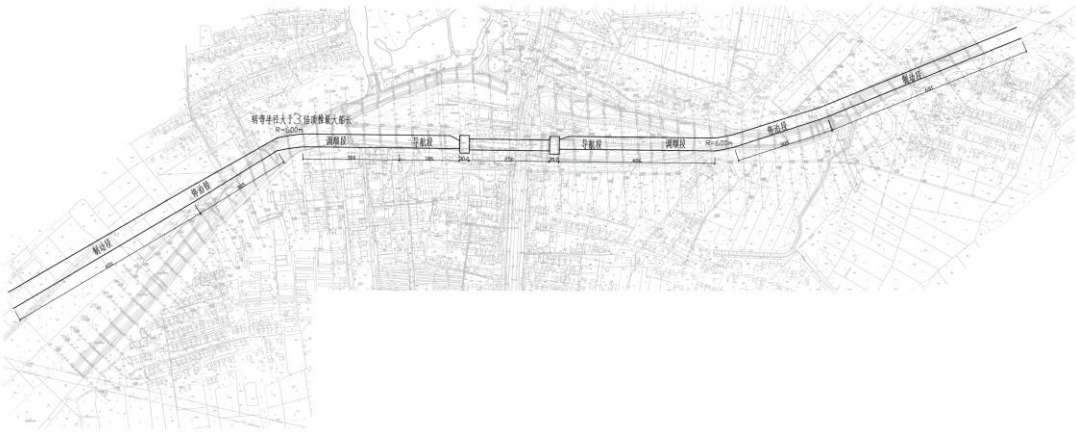


图 2

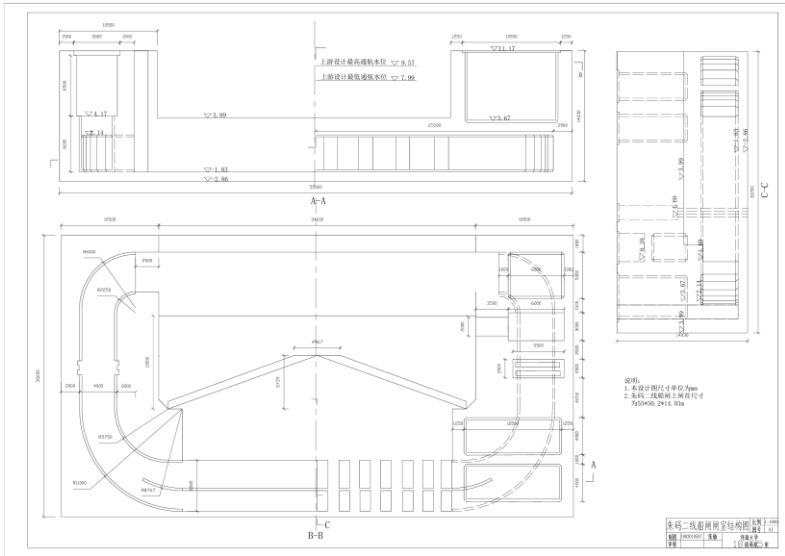


图 3

主要设计内容包括：

(1) 基于施工方案的水闸工程 BIM 综合模型。建立水闸工程施工方案的 BIM 综合模型。利用 Revit BIM 建模软件建立水闸工程的三维信息模型，将平面的二维图纸转化为立体的三维模型，精准直观的反映水闸土建的几何和非几何信息，创建该水闸工程的信息载体。

(2) 研究三维协同设计的方式，实现水闸工程专业间及专业内部的协同设计，提高整体设计效率。研究三维协同设计的方式，通过内置软件 Dynamo 的脚本写作实现施工顺序可视化，对水闸整体土建部分进行施工动态模拟，未来可以对工程进度的实时监控进行辅助，形成一个具有可视化与分析功能的 BIM 模型体系。

选题目的

本次作业本来选择的对象是斜坡式防波堤，也就是我的毕业设计，但是相关的文献太少，无法起到参考学习的作用，所以选择了本科期间的课程设计：水闸。本次选题的原因和目的也是一个月前，在课程《钢筋混凝土原理》的阳光课堂上，参观了深圳人才安居房的一个楼盘，该项目除了特色性的首次模块单元吊装外，还是国内首个采用组装合成建筑法，真正做到了“像造汽车一样造房子”，同时也是全国第一个 BIM 全生命周期数字化交付 MiC 项目，通过 BIM 技术的管线综合优势，节省材料和人工成本达总造价的 3% 以上。通过三维可视化交底技术，节约因碰撞和安装工序不合理返工的成本，大概在总造价的 1% 以上。通过 BIM 技术与工业化预制结合，损耗率控制在 4% 以下，仅此材料就将节省 7% 以上。通过管理平台，提高管理人员与其他方的沟通效率。在工地还有一个专门的 BIM 监测室，可以实时监测施工进度、各模块所在位置及安装步骤详情，甚至在岗员工人数与工作情况。基于这次参观受到的启发，在 BIM 建模的基础上，想通过 Revit 实现施工进度可视化的一些操作，在模型上能够通过不同的颜色区分不同施工进度的部分。基于此目的开始本次研究。

研究成果

基于族库的水闸工程 BIM 参数化模型构建

该水闸 BIM 模型的创建使用的为可载入族，这样就需要设计者选择合适的族样板来创建适合水闸工程的族构件库。针对族有以下两种说明，族编辑界面如图 4 所示。

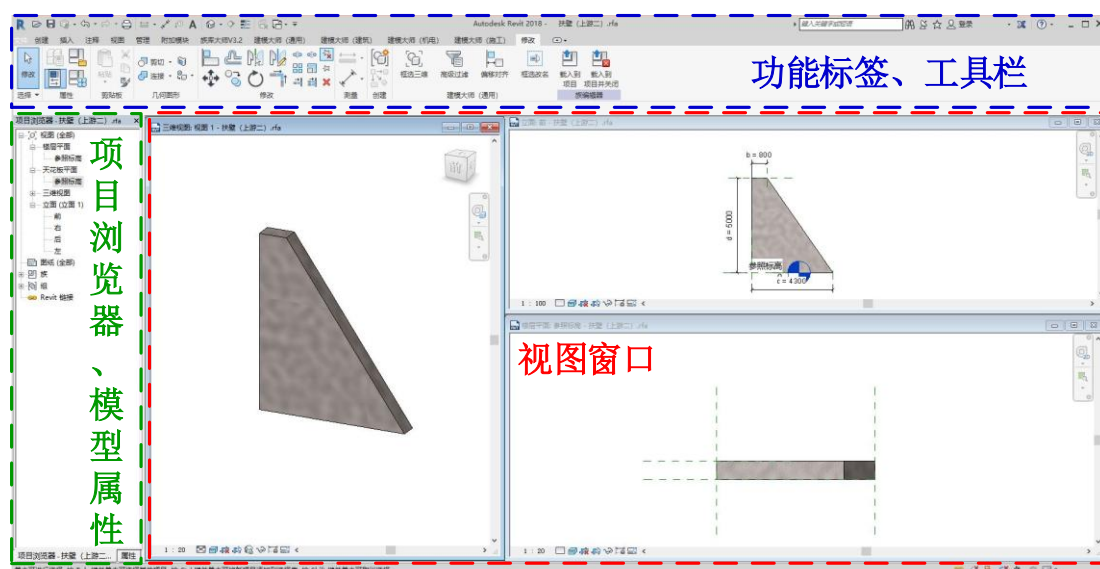


图 4

图元：Revit 图元包括三种：模型图元、基准图元以及视图图元。模型图元代表实际三维几何图形，如柱、墙、门窗等；视图图元只显示在放置这些图元的视图当中，用来对模型进行描述或归档，如二维详图、尺寸标注；基准图元可协助项目定义范围，让族构建在项目精准定位，如标高、轴网以及参照平面。

类别：一个项目中图元种类及数量众多，类别旨在建模过程中对族构建进行分类归档，方便快速查找与修改。例如，模型图元包括墙柱、门窗、电气设备等类别，注释图元包括文字注释、标记等类别。按照类别、族、类型对图元进行分级如图 5 所示。

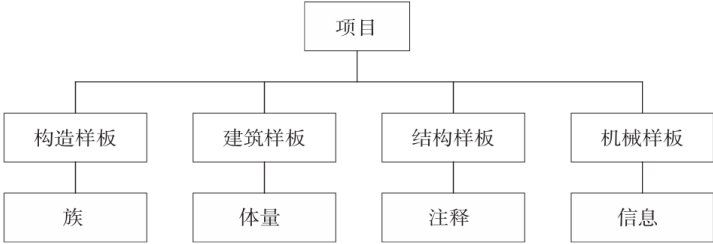


图 5

三维信息模型是水闸工程的信息载体，模型质量的高低决定了能否真实展示工程造型及样貌，也影响后期施工、运营管理质量，因此三维建模是 BIM 技术在水闸在全生命周期应用的关键步骤。

模型创建的过程就像搭积木，组成模型的基本单元就是族。初始打开 Revit 时，系统已经自带一些使用频次较高的常规族，如屋顶、墙、门及楼梯等，门按类别又分为卷帘门、单扇门、双扇门、推拉门等。虽然系统自带族的种类繁多，但是实际工程往往比较复杂，造型样式多变，系统族无法满足模型建立的全部需求，这时候就需要用户自己创建新族，解决实际情况中遇到的各种标准或非标准设备类型，完成工程模型的建立。

创建族构件过程如图 6 所示，其基本步骤为：

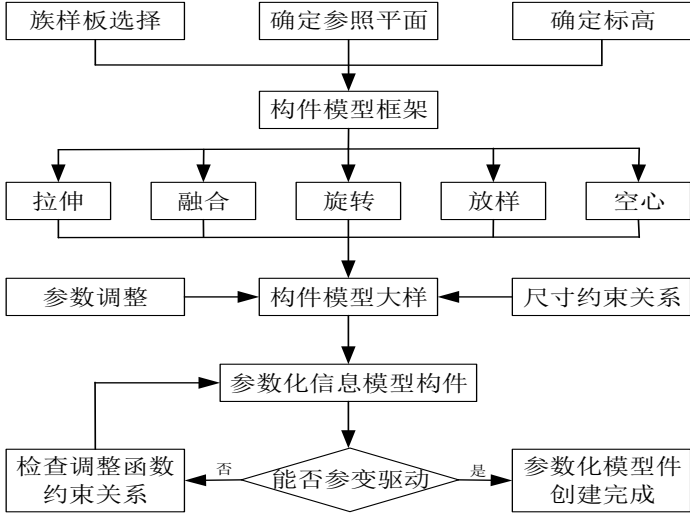


图 6

（1）选择族样板，确定构件主体轮廓。一般选用“公制常规模型”样板，也可以根据实际需求选择相应样板，如栏杆采用“公制栏杆”样板、电气设备采用“公制电气设备”样板等。通过布置参照平面及标高，确定族构件的大致形状。

（2）绘制构件几何形状。根据构件尺寸信息，利用拉伸、融合、放样等工具，精准绘制构件三维模型。参照平面是参数表达中重要的约束传递载体，通过布置的参照平面及标高，将几何形体的边界与其对齐锁定，即可实现联动，形成动态结构约束系统。

(3) 调整族参数。族构建可以储存丰富的信息，包括构建的几何尺寸、物理参数（粗糙率、传热系数）、材质功能（构造材料、功能分类）、标识数据（成本、制造商、施工说明）等，除此之外还可以根据自己的需求添加相应的数据，如图 7 中基本墙和卷帘门参数编辑界面所示，这些数据的添加为后期工程量的统计、成本预算及管理运营提供极大地便利，族参数编辑界面如图 7 所示。

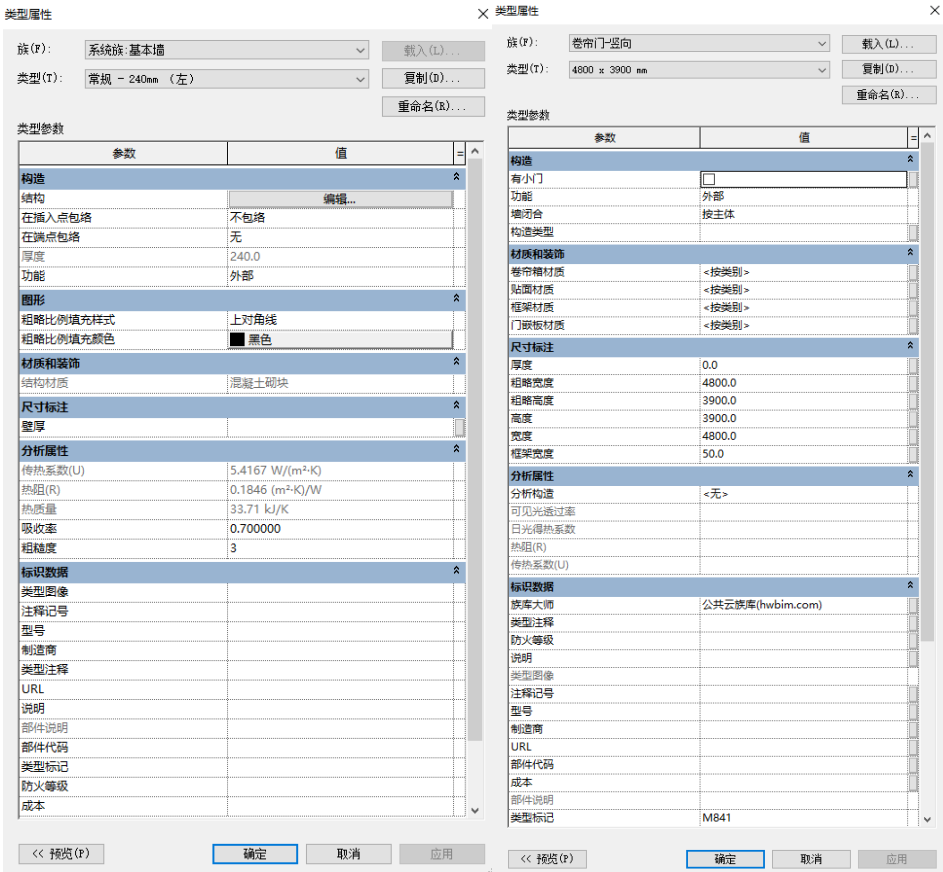


图 7

(4) 检查模型，保存新定义的族。检查模型能否参数驱动，若不能则调整函数约束关系；若可以则保存新定义的族，完成参数化模型的创建。

参数化是模型设计的核心内容。在水利行业中对 BIM 的大多数应用是将工程模型与工程信息分开的，族构件作为信息储存的载体，将其归类整理可以形成相应的标准化族库，实现快速建模。在模型创建过程中，设计人员只需要根据自己的需求调取相关族构件并对其进行参数编辑修改，就可以得到包含新参数信息的族构件，让设计人员从繁多冗杂的建模任务重解放出来，提高工作效率。在族构件的创建过程中，多进行参数化的定义，才能更好的发挥族库的适用性和反复利用性。

例如，在创建扶壁式翼墙模型时，扶壁截面的形状都是梯形，只需创建一个将上低、下底及高参数化为 b、c、d 的体型拉伸族构件，分别赋予 800mm、5000mm、4300mm 和 800mm、4000mm、4000mm 两组不同的数值，就可以得到不同尺寸的扶壁模型，如下图 8 中（a）、（b）所示，这两模型图元属于同一种族中不同的类型。

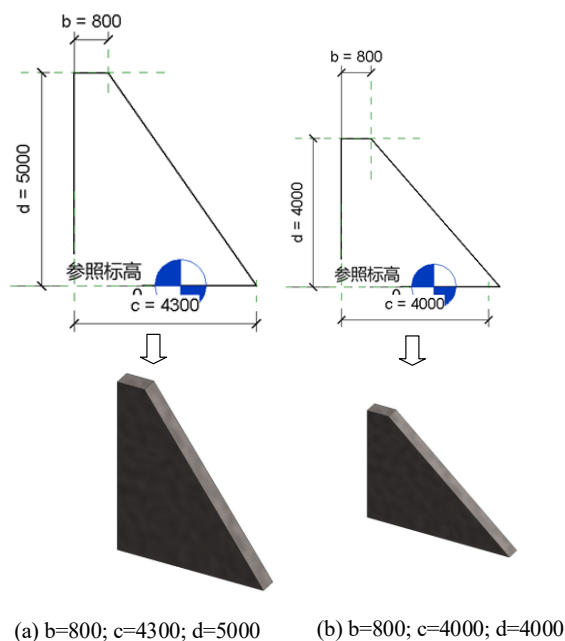


图 8

当项目所需的族库创建完成时，便可进行项目模型的装配。在该过程中，标高和轴网为族构件在三维空间的放置提供重要依据，以便能够准确定位闸底板、闸墩、翼墙等位置。标高可定义每个楼层或建筑物的高度，需在立面试图或在剖面视图中创建，如图 9 所示。轴网由轴线组成，可以是直线、圆弧段或多段线，与标高共同构成三维模型的定位体系，如图 10 所示。通常情况下先创建标高，再创建轴网，这样使得所创建的轴网都可以在每一层平面视图中显示。

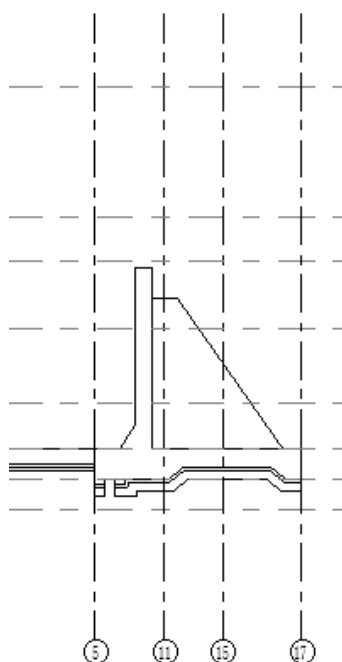


图 9

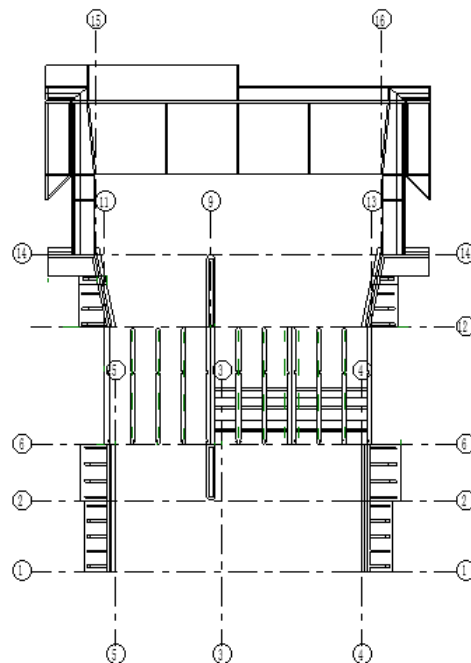


图 10

模型装配时，首先在 Revit 中创建新的结构样板项目，根据工程信息创建相应的标高及轴网；将创建好的族构件载入到项目中，利用参数化的优势，复制多个族构件并进行参数修改，即可得到多个不同尺寸的族构件，通过旋转、移动、对齐等命令将其放在特定的位置上，

通过调整不同视图检查族构件之间的位置关系是否正确。如果在模型拼接过程中发现族构件存在尺寸等问题，可以双击进入族编辑界面进行修改，再重新载入项目并替代原族构件。

水闸工程涉及专业广泛，一次完成全部族构件的拼装整合不仅工作量巨大，各构件之间的交叉也错综复杂，宜先按照不同专业将水闸工程划分为部分，分别对各专业进行模型拼接，最后通过协同设计整合，完成整个水闸模型。

在模型装配方面，将创建好的闸底板、闸墩、翼墙等族构件载入到新创建的项目样板中，对于扶壁、闸墩、桩等多个重复项或相似体的族构件，可通过复制、参数修改等操作创建多个实例或类型。土建部分工程量巨大，宜按照从上游至下游的上游护坦、闸室、消力池、海漫顺序依次拼装，避免因族构件太多、空间位置复杂等问题降低效率，如下图 11 所示。

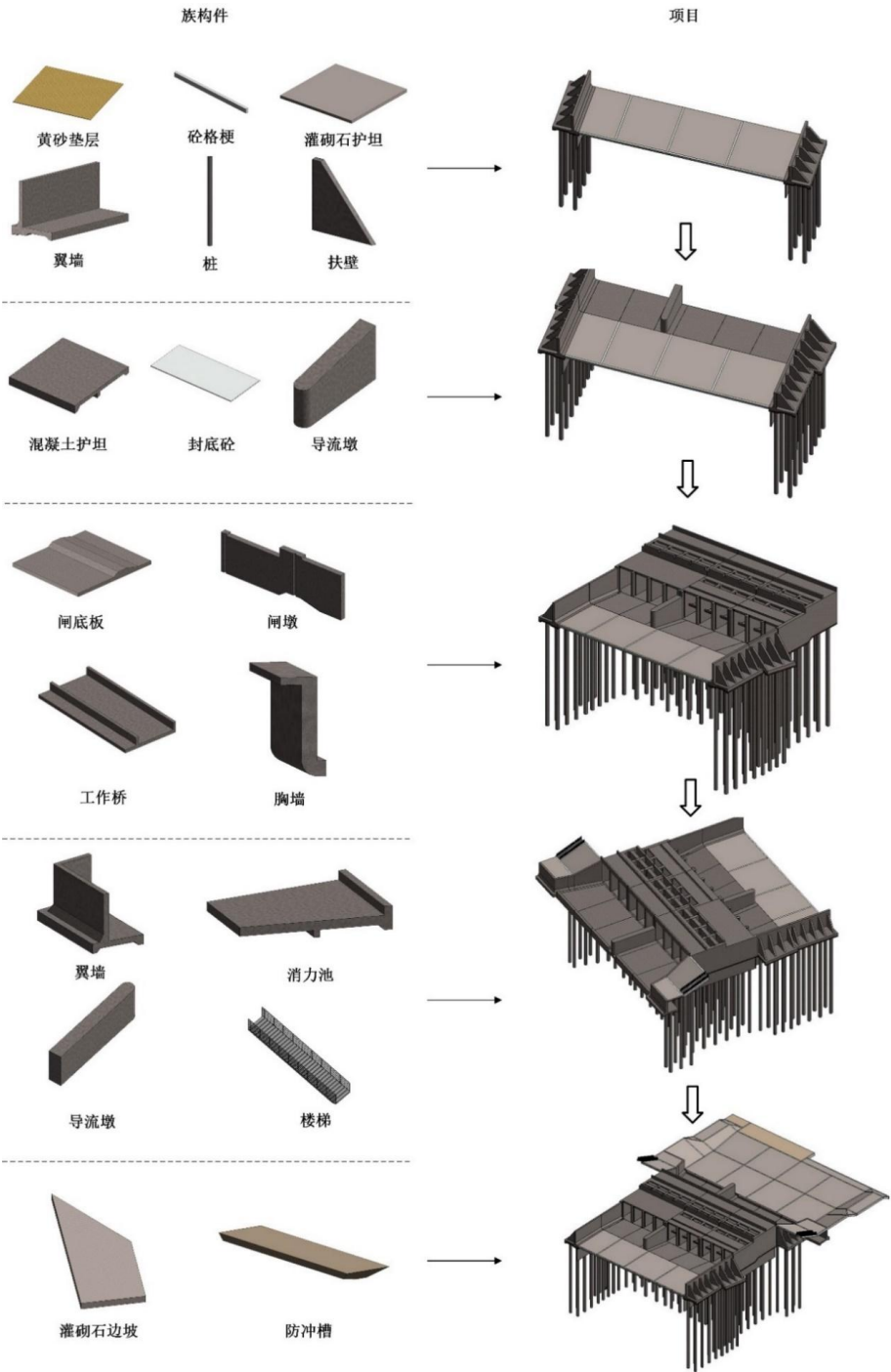


图 11

建成后的 BIM 模型可以根据需求切换至任意视图，例如平面有利于水平管线的布置，剖面有利于建筑物内部管线的布置，还可以转动三维模型切换不同的观察角度，实现水暖电系统图表达精准化、各专业大样图表达形象化，专业冲突一览无余，提高设计深度。使用 Revit 剖切功能，对建成的三维模型做剖面，如图 12、13 所示，实现二维动态出图，有效指导施工。

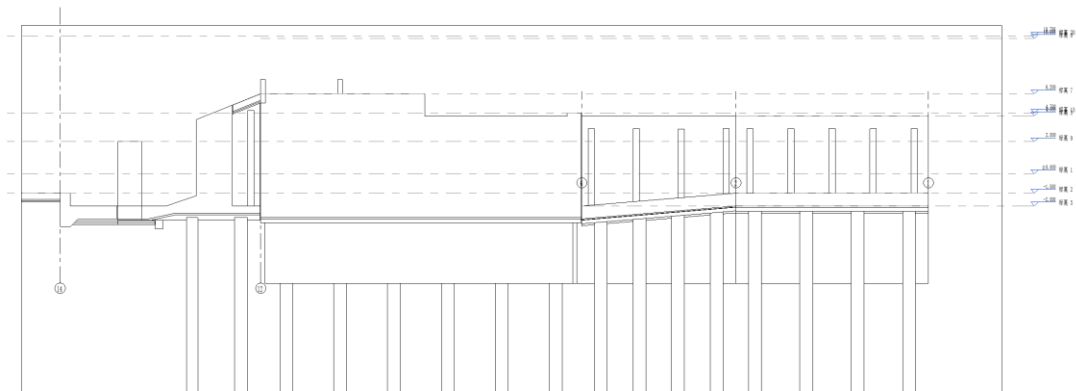


图 12

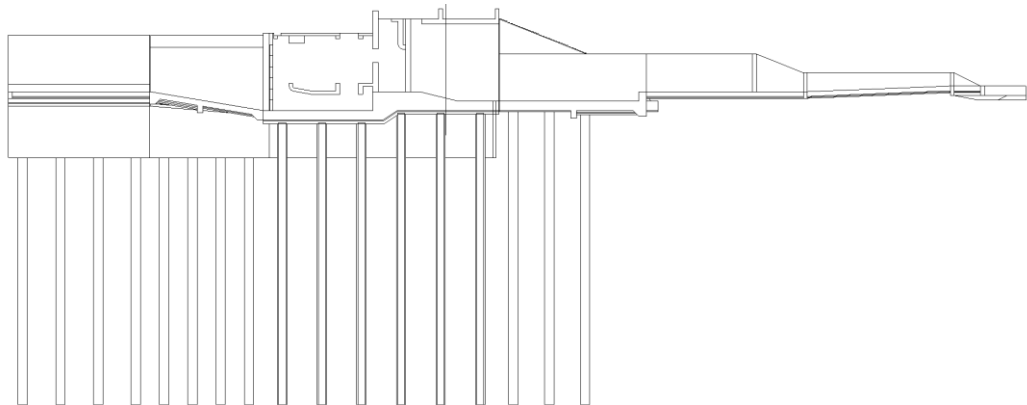


图 13

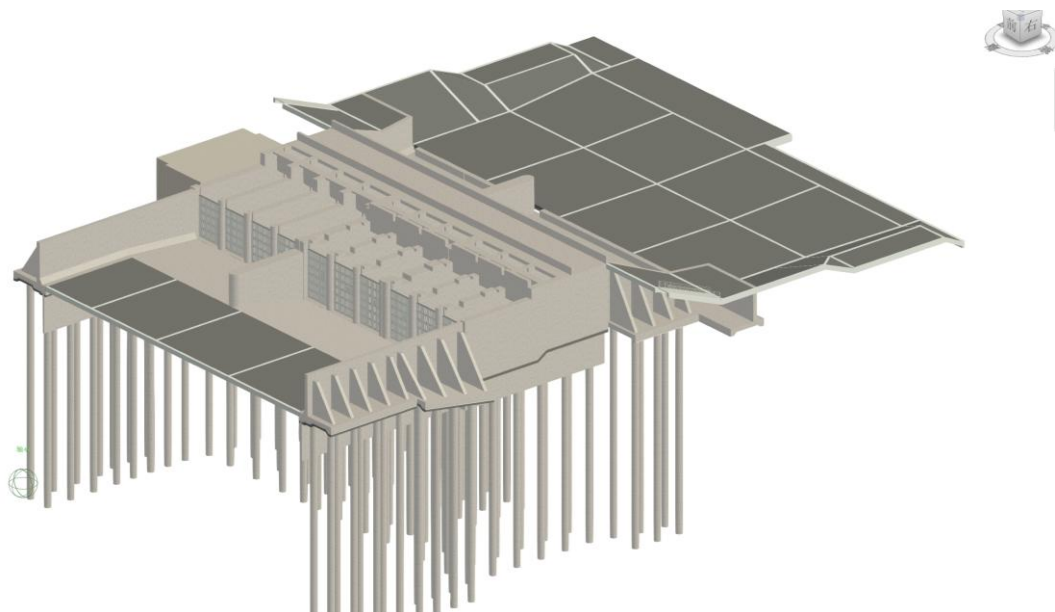


图 14

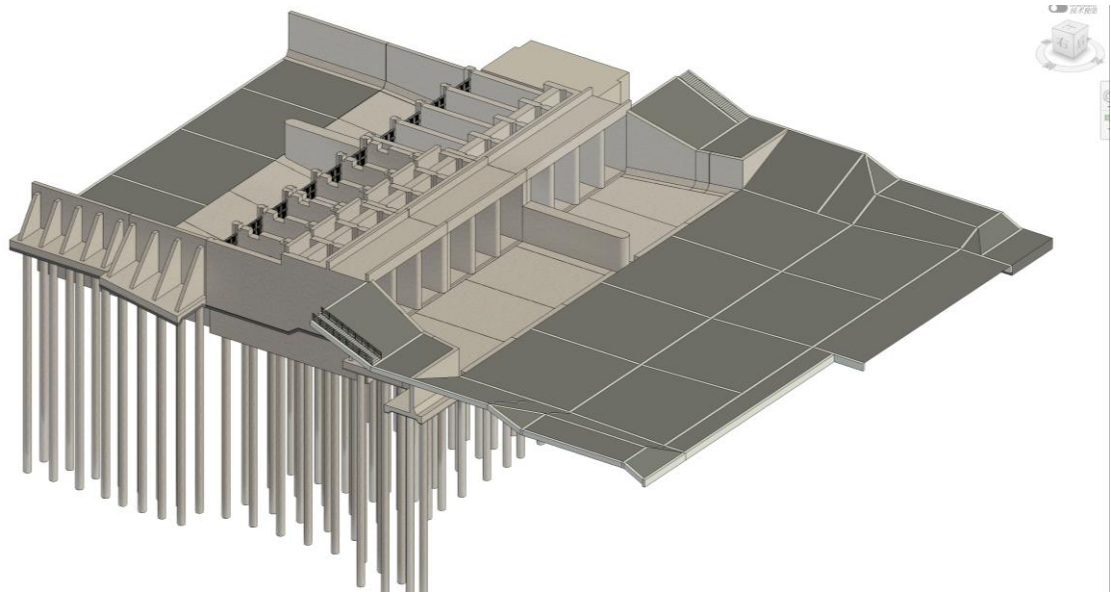


图 15

Dynamo for Revit 工程施工模拟

水闸桩基布置是建模中的一大难点。传统二维设计在进行桩基施工布置时需绘制成千上万根桩的图纸，手工编号，工程量计算更是耗时易错。而在 BIM 模型中，可以实现自动编号、自动统计，大幅提升效率。为实现这一目标，我们引入 Dynamo。首先在 Revit 中添加项目参数，命名为“施工阶段”，指定适用的构建类型，返回主界面后手动给各个构件设定项目参数，表示这个构件在第几个项目阶段进行施工。一般来说，从下往上，承台构件施工阶段为 1，闸室墙体为 2，启闭机平台为 3。

Dynamo for Revit 是以 Revit 为基础的可视化编程平台，让设计师通过定义程序流程、探索参数化的方案设计和自动化建模与模型检查工作流。Dynamo 可以帮助用户实现交互操作性的工作流程文档管理，自动地进行模型创建、协调、模拟和分析，取代机械化的重复作业，工作效率显著提升。

基于 Dynamo 的参数化设计有以下特点：①可视化设计，Dynamo 的可视化编辑功能，能够在 Revit 中实时同步建立模型；②参数化设计，高度参数化与动态关联性能快速修改模型，大幅提高设计效率；③模块化设计，通过自定义相关设计节点，采用模块化的组成结构，能大幅度降低工程师使用专业限制；④设计可持续性，设计过程中不断累积丰富的模块库，可以方便后续设计中快速调用。水利工程中基于 Dynamo 的参数化建模，已有比较成功的案例。如提取蜗壳和尾水管单线图上的几何信息导入 Revit 中，通过 Dynamo 读取数据并关联到自定义节点进行参数设计，快速生成蜗壳和尾水管的 Revit 模型与 Dynamo 模型。通过 Dynamo，我们可以实现构件施工阶段的参数标记与自动着色，从而完成了施工流程的阶段可视化。

这段 Dynamo 脚本（图 16）用于实现水闸 BIM 模型的施工阶段可视化模拟。其核心思想是：通过读取模型中各构件的“施工阶段”参数，与滑块指定的当前施工阶段进行比较，筛选出属于当前阶段的构件，并对其进行颜色高亮显示，从而达到动态展示施工流程的目的。具体做法是：先从多个构件类别中提取所有模型构件，通过‘Element.GetParameterValueByName’读取每个构件的“施工阶段”参数，并与滑块输出值用‘==’节点进行逐项比较，生成布尔值列表；再利用‘List.FilterByBoolMask’过滤出匹配当前阶段的构件，最后用‘Element.OverrideColorInView’节点将这些构件高亮为红色。滑块值变化时，Dynamo 会自动更新高亮构件，实现分阶段施工模拟。该脚本在无需插件的基础上

心得体会

综合来看，BIM 技术在本项目中发挥了信息集成与可视化的优势。

传统二维模式存在信息断层、协调困难等问题，而通过 BIM 模型，我们不仅解决了建模与统计问题，还利用 Dynamo 实现了模型驱动的施工模拟，展示了 BIM 在水利工程中实际应用的潜力。最后是本次项目参考文献列表，涵盖了 BIM 在水闸建模、施工设计及参数化建模方面的多个研究成果。它们为我完成本作业提供了理论支撑与技术借鉴。

借助该水闸工程，创建了通用于水闸工程 BIM 模型创建的水闸族库。整理水闸工程中涉及到的族构件，分析构件的共性特点，并通过参照平面体系将构件突变处进行参数化约束，参照平面体系是族参数化设计中重要的空间定位和布局方式，如此各结构单元通过参照平面展现彼此之间的空间约束位置关系。所建构件具有“以一当十”的功能，即如果有其它类似水闸结构构件，只需调用族库构件，参数化修改或者原位简单编辑即可投入使用。需要进一步对族构件、族参数进行统一规范的命名。水闸工程工程量大、涉及构件繁多，族构件命名没有统一的规范，导致其他设计人员在利用该族构件时不能准确理解族参数代表的含义甚至不知道到该构件是什么，降低参数化族库的重复利用率。规范统一的命名方式对后期族在项目中的管理、调用具有重要意义，但是水利工程体系庞大，难以形成完备健全的命名体系，就如何规范命名族构件及族参数仍需探究，

BIM 虽然可以替代很多之前技术人员的繁杂而冗余的工作，减轻了工作量，在一定程度上简化了工作流程。但是对于应用人员的经验与技术层面的控制是不能代替的。应用人员也要与技术同步。在今后要立足于工程实际应用，及时的去发现 BIM 技术中存在的问题，并加以解决，更应该以灵活的思维去看待问题，做到 BIM 软件相容共通。

参考文献：

- [1] 郝玉伟,梅震伟,任泽俭.BIM 技术在大中型水闸建设中的全生命周期应用:以山东省无棣县黄瓜岭橡胶坝除险加固工程为例[J].建筑科技,2023,7(6):47-50.
- [2] 刘永强,朱斌,任海文,等.基于 BIM 技术的大型水闸工程施工危险源辨识系统设计[J].水电能源科学,2023, 41(5):170-173,134.
- [3] 郭靖,时之光,高洪远,等.基于 BIM 技术的水闸工程装配式预制构件设计与实现[J].水利水电快报,2023, 44(4):58-63.
- [4] 王宁,陈嵘,杨新军,等.基于 BIM 技术的水利工程三维设计研究与实现[J].人民长江,2017,48(B06): 156-159.
- [5] 董华林.基于 BIM 技术的中小型水闸施工图设计研究 [D]. 北京: 华北水利水电大学, 2022.
- [6] 罗凯,孙永明,孙峰,等.基于 Revit 的水闸工程样板开发及应用研究[J].水电能源科学,2020,38(11)174-177.
- [7] 胡金鹏. Dynamo for Revit 在中小型水利项目中的应用[J].水利规划与设计.2018(2):182-186.
- [8] 曹阳.基于 Dynamo for Revit 的参数化设计在水力机械设计中的运用[J].土木建筑工程信息技术. 2018(2):23-29.
- [9] 黄雪峰,李非,李青柏,等.基于 BIM 技术的水闸工程参数化设计研究[J/OL].水电能源科学,2025,(06):148-152[2025-06-02].
- [10] 陈向东.灌区水闸结构 Revit 正向参数化族库设计[J].水利科技,2025,(01):50-52.
- [11] 龙钢.依托 BIM 技术的水闸三维建模与消能工程设计[J].水上安全,2024,(23):121-123.
- [12] 夏可,王君丽,倪嘉.水利 BIM 建模与应用基础[M].中国水利水电出版社:202411.230.