

基于 Bentley 的重力坝设计辅助工具研究

王昶力 刘晓彬 于敬舟

中水北方勘测设计研究有限责任公司，天津，300222；

摘要：基于 Bentley 平台的设计软件 Microstation 进行二次开发，研究重力坝设计辅助工具，解决重力坝设计过程中复杂的计算、算量、出图三类内容。计算工具包括坝顶高程计算、风速计算、风区长度、水域平均深度、波浪要素计算、冰压力计算等；算量工具包括体积、面积、元素的统计；出图工具包括二维表现（标注样式、文字样式、图纸、图框、图签、图幅等）和三维表达（显示样式、材质库、应用样式等）出图需求功能。本研究以期转变设计工具模式、提升设计计算效率、推动工程设计数字化进程，提供更多的技术参考。

关键词：Bentley；重力坝；辅助工具；计算

DOI：10.69979/3060-8767.25.10.033

引言

在当今水利工程领域蓬勃发展且数字化转型加速的大背景下^[1]，重力坝设计作为水利枢纽建设核心环节之一，正依托前沿科技迈向全新高度。

传统重力坝设计计算环节，面对诸如坝顶高程、风速、波浪要素等繁杂计算任务，依赖设计人员手动翻阅规范、代入冗长公式、反复核算校验，过程不仅极易出错，且效率极为低下，耗费大量人力与时间成本。算量工作贯穿重力坝设计始终，从坝体混凝土浇筑量预估、基础开挖土石方统计，到各结构部件表面积核算，传统依靠设计图纸二维量测结合经验估算的方式，误差大、难以动态调整且无法适应频繁设计变更需求。出图作为设计成果直观呈现环节，过往二维图纸绘制受限于手工标注、图幅排版局限，三维表达则困于材质渲染简陋、样式单一，导致设计意图传达晦涩、施工指导精度欠佳。

基于 Bentley 平台设计软件 Microstation 开展的重力坝三维参数化设计系统开发研究^[2]，本文重点介绍系统子模块“重力坝设计辅助工具”的二次开发研究。重力坝设计辅助工具通过内置行业权威规范条文、嵌入先进算法，实现一键输入基础数据，即可自动化、高精度输出系列关键计算结果，深度革新传统范式。

1 重力坝设计辅助工具介绍

Bentley 平台的 Microstation 软件以其强大的三维建模、信息整合及拓展能力，成为承载重力坝设计辅助工具开发的理想平台。

重力坝设计辅助工具作为一个综合性的数字化套件，并非孤立模块的简单拼凑，而是紧密交织的有机整

体。其底层架构深度融合了水利工程专业知识体系与设计软件工程逻辑，在数据层面，构建起统一的数据存储与交互格式，确保无论是地形地貌数据、结构设计参数，还是后续施工反馈信息，皆能被高效吸纳、有序流转。界面设计秉持直观简洁、易于上手原则，贴合水利工程师日常工作习惯，即便面对复杂功能，也能通过清晰导航与提示快速操作。

基于 Microstation 核心功能拓展而来的重力坝设计辅助工具，为后续计算、算量、出图等关键环节协同运作筑牢根基，是整个重力坝三维参数化设计系统的重要组成部分，驱动整个设计过程高效运行。其系统架构超脱传统软件系统固有的单独人机交互界面，将所有功能均以工具条、功能键的表达风格和使用形式，通过工作空间定制充分融合进 Bentley 平台的 Microstation 软件界面中^[7]，如下图 1 所示。

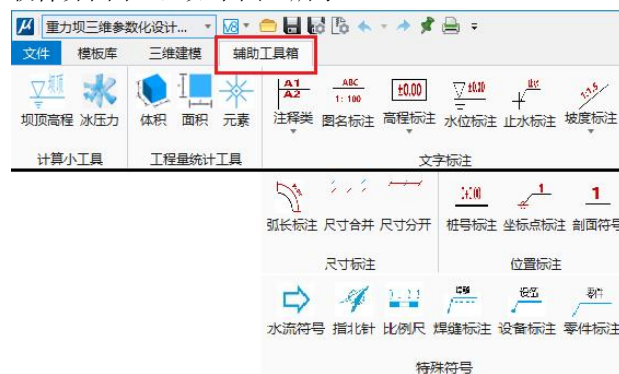


图 1 辅助工具箱

2 计算工具

2.1 坝顶高程计算工具

坝顶高程的确定直接关系到坝体断面形状和各种

荷载计算的过程,对重力坝轮廓尺寸设计和安全稳定分析至关重要^[3]。坝顶高程的计算过程又会涉及波浪要素、风区长度和库底高程的计算。因此,坝顶高程是重力坝设计的首要参数。

根据《混凝土重力坝设计规范》,计算时按照正常蓄水位和校核洪水位两种工况之中的较高者确定防浪墙顶高程,坝顶高程取防浪墙顶以下 1.2m,且不低于校核洪水位,其与正常蓄水位或校核洪水位的高差可由公式 $\Delta h=h_1+h_z+h_c$ 计算。

式中: Δh 为防浪墙顶至正常蓄水位或校核洪水位的高差; h_1 为波高; h_z 为波浪中心至正常或校核洪水位的高差; h_c 为安全超高。

计算过程使用到,安全级别、正常蓄水位、校核洪水位、风区长度 D 、多年平均年最大风速 v 、50 年重现期年最大风速、水域平均库底高程、坝前库底高程、防浪墙高度等参数。尤其波浪要素^[4]的计算,需要具体条件适当选用不同的公式,且需要进行变量求解。

为解决传统人工和 excel 计算方式容易导致计算错误,且计算过程复杂、效率低下的困扰,将设计规范要求和计算规则封装进代码,集成坝顶高程、波浪要素、风区长度和库底高程计算功能,通过可视化交互界面,输入基本计算参数,选择适用条件,一键生成波浪要素、防浪墙顶高程等过程结果,以及坝顶高程计算结果。操作界面如下图所示 2 所示。



图 2 坝顶高程计算界面

2.2 冰压力

冰压力也可通过工具单独计算,封装计算工时代码,通过输入工程规模、冰层厚度、冰块流速、冰块面积、流冰厚度等必备计算参数,一键输出结果。

3 三维算量

立足 Bentley 二次开发的算量工具,深度挖掘 Microstation 三维模型信息,基于精确几何算法,对坝体、附属结构等复杂实体进行智能识别与拆解。无论是规则

坝段体积、不规则基础挖方,还是钢筋表面积等元素统计,皆能在设计模型更新瞬间同步刷新数据,实现工程量随设计动态实时精准把控。

本研究中工程量统计功能包括两部分。

(1) 在研发的重力坝设计系统中,模型报表功能,对依托本系统所建模型进行汇总管理,并可对模型进行高亮追踪和编辑修改,三维模型联动更新,并对坝体混凝土填筑量、枢纽建筑物数量及分类进行自动统计。模型报表功能保障设计人员可随时按照变更方案灵活修改模型,如下图所示。



图 3 “模型报表”界面

(2) 独立的“体积、面积、元素”的统计功能。

在“辅助工具箱>工程量统计”中,点击“体积”功能按钮,将需要统计体积的模型所在图层添加进右侧,然后点击“统计工程量”按钮,则自动计算出工程量大小,并可以导出为 excel。如下图所示。

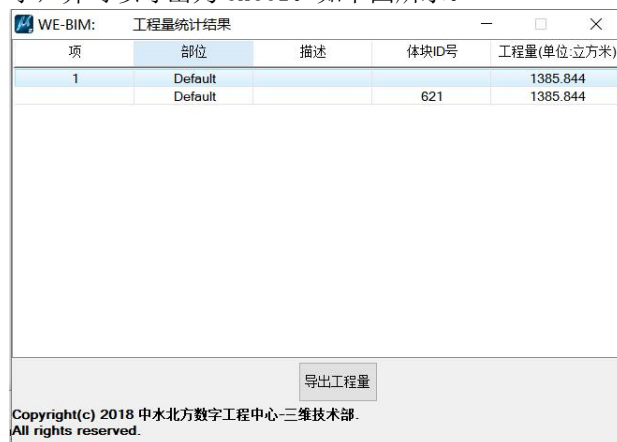


图 4 工程量统计结果

4 辅助出图

基于 Bentley 二次开发的出图辅助工具从二三维层面,优化软件功能,丰富设计工具,提升出图和表达效果。

在二维层面,深入了解设计人员需求,针对现有软件标注功能不足的问题,研发符合公司出图标准的智能标注工具集,集成丰富标注样式库、贴合国标与行业习惯的文字样式。如图 1 所示,本标注工具集的功能包括:

文字标注

①多层文字标注；②高程标注：平面高程、立面高程；③图名标注；④水位标注；⑤止水标注；⑥坡度标注。

尺寸标注：

①弧长标注；②尺寸合并；③尺寸分开。

位置标注

①桩号标注；②坐标点；③剖面符号。

特殊符号

①水流方向；②指北针；③比例尺；④焊接标注；⑤设备标注；⑥零件标注。

表格工具

①设备材料表；②工程特性表；③坐标表。

(5) 三维出图上，借助材质库预存海量混凝土、岩石、金属等材质纹理，结合光影渲染算法，真实还原建筑物建成后外观质感与光照效果，多样显示样式（线框、实体、半透明等）满足不同展示需求，输出高清可视化成果助力设计交底、施工模拟，打通设计与施工可视化沟通壁垒。出图效果如下图5所示^[5]。

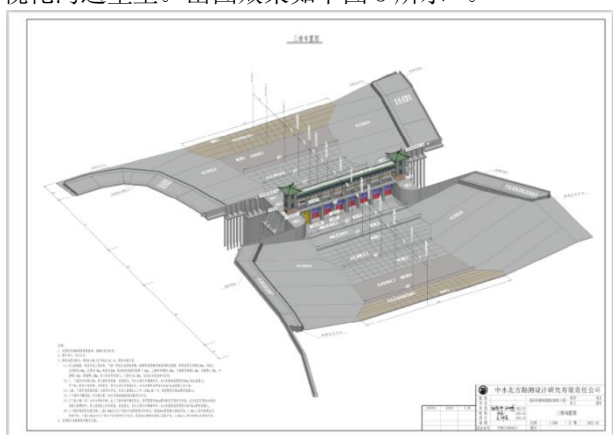


图5 出图效果参考图

5 结语

整体而言，本文基于 Bentley 的重力坝设计辅助工

具研究的核心在于推动设计工具模式从传统离散、低效向集成化、智能化转变。依托 Microstation 强大底层架构与二次开发拓展性，串联起计算、算量、出图全流程，各模块数据交互共享、协同联动，一处修改全局智能更新。

更重要的是，后期研究可以此为基石融入工程数字化生态，与项目管理软件协同追踪设计进度、成本；对接 BIM 协同平台，实现跨专业（地质、机电等）信息融合交互，实现重力坝全生命周期管理，赋能行业高质量发展。

参考文献

- [1] 刘志明, 刘辉. BIM 技术在提高水利水电工程建设现代化水平中的探讨[J]. 水利规划与设计, 2018(2): 1-8.
- [2] 于敬舟, 刘晓彬. 基于 Bentley 的重力坝三维参数化设计系统研究[J]. 水利水电工程设计, 2024, 43(03): 49-52.
- [3] 陆继鑫. 水库大坝坝顶高程计算方法的分析[J]. 水电能源科学, 2021, 39(12): 97-99.
- [4] 陈菲菲, 渠立, 祝旭, 等. 基于不同方法的某工程设计波浪要素确定[J]. 陕西水利, 2023(11): 145-147.
- [5] 于敬舟, 孙斌. 数实融合协同互联——某防潮闸除险加固工程 BIM 设计应用实践[J]. 中国建设信息化, 2023(16): 48-51.

作者简介：王昶力，1991 年 9 月，男，汉族，硕士，天津静海，工程师，水利水电工程。

刘晓彬，1988 年 7 月，男，汉族，硕士，河北邢台，工程师，软件开发、智慧水利。

于敬舟，1991 年 9 月，男，汉族，硕士，河北沧州，工程师，水利水电工程、智慧水利。