

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20222609

基于 BIM 的混凝土重力坝浇筑方案 自动规划系统开发研究

何天啸¹, 虞 鸿², 孙 啸¹

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司, 浙江 杭州 310002)

摘要: 针对目前混凝土重力坝浇筑方案采用人工规划时间成本大、成效低、调整复杂、方案直观程度低等问题, 基于建筑信息模型(BIM)技术, 利用 Revit 平台, 开发了混凝土重力坝浇筑方案自动规划系统。该系统通过将浇筑信息与 BIM 模型关联, 直接抓取大坝数字模型信息, 具有计算浇筑相关参数、浇筑约束条件自定义、坝块排期、甘特图绘制、大坝节点面貌显示、模拟浇筑等功能。通过朱溪水库拦河坝的工程实例, 验证了该系统的便捷性、高效性和直观性, 同时亦为类似系统的开发研究提供了借鉴。

关键词: BIM; 混凝土重力坝; 浇筑方案; 自动规划; Revit

中图分类号: TV512 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7709(2023)10-0082-04

1 引言

混凝土重力坝浇筑方案的制定和优化是大坝施工进度控制的重点。浇筑方案^[1]直接受自然环境等诸多内外因素的影响, 同时又要满足防洪、度汛、导流施工及发电等设计要求, 是施工管理中的难点。现有方法常采用 MS Project 等商用项目进度管理软件, 人工编排浇筑顺序并根据实际工程情况不断进行调整, 重复工作量大且难于调整。最后的工作成果常以时间列表或甘特图的形式给出, 无法形象展示出施工过程和关键节点的大坝形象面貌。近年来, 随着计算机技术的迅速发展, 许多研究^[2-5]都着眼于利用计算机仿真技术开发大坝施工仿真系统。这种仿真系统可以有效地对各种施工方案进行评估, 且可以与图形引擎相结合实现成果可视化, 但这种系统通常是针对特定工程进行开发, 通用性较差。建筑信息模型(BIM)技术不同于传统的 CAD 技术, 其将项目的各种信息以三维数字模型形式给出, 可视化程度高, 集成信息能力强。目前, 水利水电行业在大力推进 BIM 技术, 许多水利工程都建立了 BIM 模型。如王婷婷等^[6]利用 Revit 模型, 通过 P6 编制计划, 最后使用 Navisworks 模拟施工进度; 张社

荣等^[7]利用 BIM+GIS 技术, 通过对比数据库中的浇筑仓面计划, 实现了碾压混凝土坝在 GIS 场景下浇筑进度的模拟和监控; 陶玉波等^[8]以 CATIA 软件为载体, 精细划分 BIM 模型, 通过录入在数据库中的计划进度, 进行水利工程的进度监控。但这些系统对施工进度计划的制定仍依赖于第三方施工进度管理软件, 仅将 BIM 模型运用在仿真演示阶段。鉴此, 本文将建筑信息模型(BIM)技术引入混凝土重力坝浇筑进度控制中, 旨在基于已有的 BIM 模型, 利用 BIM 技术实现浇筑方案的自动制定、优化和可视成果展示。

2 混凝土重力坝浇筑方案自动规划系统开发

2.1 开发平台

Revit 是 Autodesk 公司旗下的一套 BIM 软件, 其 API 文档丰富, 适合二次开发, 目前我国 BIM 体系中应用较为广泛。故本文选取 Revit 2020 软件作为混凝土重力坝浇筑方案自动规划系统的设计平台, 使用与 .NET 框架兼容的 C# 语言进行的编程开发, 采用的集成开发环境为 Visual Studio 2019, 使用到的 .NET Framework 类库版本为 4.7, 采用 WPF 框架开发用户界面。

收稿日期: 2022-12-19, **修回日期:** 2023-02-06

基金项目: 浙江省水利水电勘测设计院有限责任公司科标业项目(A2110)

作者简介: 何天啸(1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水利施工新技术、新材料, E-mail: 1152886871@qq.com

通讯作者: 孙啸(1986-), 男, 博士、副教授, 研究方向为水利施工新技术、新材料, E-mail: xiaos@hhu.edu.cn

2.2 系统架构

系统可以进行混凝土重力坝浇筑施工数据抓取计算和进度自动规划,且具有显示横道图、模拟坝体浇筑、显示节点面貌、施工模拟动画生成的功能。系统可分为数据处理子系统和成果可视化子系统。数据处理子系统是系统的基础,负责读取 Revit 模型数据并规划大坝浇筑方案,成果可视化子系统负责对浇筑方案进行直观地展现。系统框架见图 1。各模块间产生的中间数据通过 Revit API 中提供的 SchemaBuilder,即外部存储,直接保存在模型的 rvt 文件中。需要读取外部存储的数据时,通过 GUID,调用 Schema.Lookup()方法获取 schema,再调用 GetEntity()方法得到 entity,最后通过 get 方法输入参数的名称得到参数的值。同时还设计了中间数据调用 Excel 插件生成数据表格,满足施工文件存档需要。

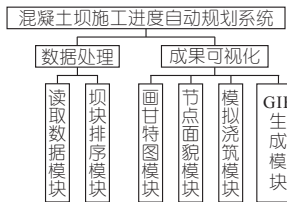


图 1 混凝土重力坝浇筑方案自动规划系统架构

Fig. 1 Framework of automatic planning system for concrete gravity dam pouring scheme

2.3 数据处理子系统开发

族是 Revit 中的一个概念,是组成项目的构件,同时亦是参数信息的载体。一个族中各个属性对应的数值可能不同,但属性的设置相同^[9]。混凝土重力坝体积大,考虑到施工及大坝运行时的温度应力、浇筑设备能力等多方面因素的影响,需将坝体按一定的原则进行分缝、分块后才能浇筑^[1]。在建模时,需对坝块的族类型名按图 2 所示的格式编码。对族的属性设置见表 1。

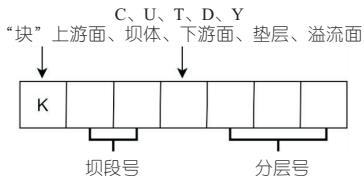


图 2 编码格式

Fig. 2 The encoding format

表 1 族的属性设置

Tab. 1 Property settings of the family

属性类型	属性名
常规	坝段编号、块体顶高程、块体底高程、块体高度
数据	分块编号、浇筑仓编号、计划浇筑强度、计划开始浇筑时间、计划完成浇筑时间、实际开始浇筑时间、实际完成浇筑时间、实际浇筑工程量、实际浇筑强度、允许入仓温度、内部允许最高温度、实际入仓温度、实际内部最高温度

读取数据模块通过对各坝块族类型名的解析,获得坝段号等信息,通过 LookupParameter()方法获得其底高程和浇筑方量信息,坝块的高度通过 get_BoundingBox()方法获取其几何边界和计算得出。最后将这些信息保存到各坝块属性中。

在坝块进行排期前,需要用户先导入一份“关键高程—浇筑强度”文件,并对浇筑时的约束条件进行指定,系统则通过 WPF 开发的用户界面对文件和约束条件进行读取。系统中的浇筑约束条件分为四类:①逻辑规则。下层混凝土未浇筑完成,上层混凝土无法浇筑;相邻坝段混凝土的高差不大于 12 m;同一时间浇筑的混凝土不能超过混凝土的浇筑强度;同一高程相邻的混凝土受立模限制无法同时浇筑。②施工规则。下层混凝土浇筑完成后需间隔 n 天后方能浇筑上层;同一坝段、同一高程分块的上游面、坝体、下游面、垫层应同时浇筑;溢流面混凝土最后浇筑。③度汛规则。如控制时间 1 前坝体不能达到指定高程,则溢流坝段不准浇筑,需预留缺口渡汛。控制时间 2 后才能浇筑缺口。④其他规则。可指定一段时间停止浇筑施工以适应春节、台风等施工暂定时期;可单独指定某仓混凝土的施工开始时间,以适应某些特殊情况(如钢管安装、设备运输等)。

坝块排序模块运行时,首先根据浇筑强度和浇筑块体积计算各个坝块的浇筑时间。之后在考虑其他规则的基础上使用优先算法进行第一轮排序,即高程最低、浇筑时间最长、首选相邻仓位(移动机械器材较方便)、可跳仓浇筑的坝块优先排序,判断其是否满足逻辑规则与施工规则,若满足则可浇筑,不满足则继续寻找下一个坝块。第一轮排序后,需要判断该浇筑方案是否满足度汛规则,若满足则输出浇筑方案,不满足则按度汛规则进行第二轮排序。具体流程见图 3。最后根据浇筑方案,将各坝块的计划开始浇筑时间与计划完

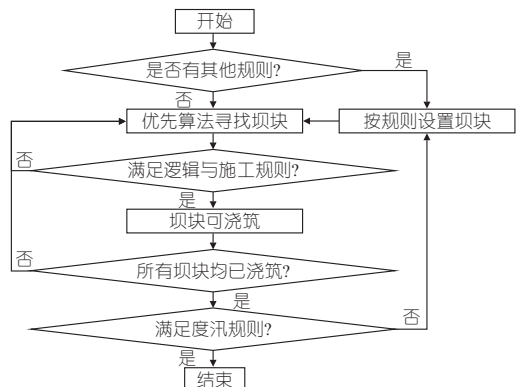


图 3 坝块排序流程图

Fig. 3 Flowchart of dam block scheduling

成浇筑时间通过 AttributeSet() 方法写入坝块属性。

2.4 成果可视化子系统开发

成果可视化子系统可自动读取所有坝块的属性参数,并通过各个模块,将浇筑方案直观地展现出来。画甘特图模块通过工作流的方式,依次读取坝块的浇筑时间信息,将浇筑时间信息转换成 DateTime 格式,最后绘制成甘特图。对于坝体节点面貌的显示,先新建一个显示元素的 Transaction 事务,使用 view.UnhideElements() 方法显示所有坝块,之后读取用户输入的节点时间,依次判断各坝块的开始浇筑时间是否大于节点时间,若是则将该项块 ID 加入一个 list 列表,最后通过一个隐藏元素的 Transaction 事务隐藏 list 列表中的坝块。

模拟浇筑功能的实现需要先隐藏所有坝块,之后新建一个 DateTime 类型的模拟时间参数 T ,将所有坝块加入一个 list 列表,使用 list.Sort() 将坝块对象按浇筑开始时间排序后找出最早的浇筑时间,令 T 等于该值。最后通过一个 while 循环,依次判断坝块的开始浇筑时间是否等于 T ,若相等则显示此坝块,同时 T 加 1,使用 Application.DoEvents() 方法更新 Revit 中的模型显示。

若要生成浇筑方案的 GIF 动画,只需在模拟浇筑的循环里调用 commandData.Application.ActiveUIDocument.Document.ExportImage(options) 方法对当前视图进行截图,则可以得到大坝的逐日浇筑图集。通过引入 AnimateGif 的第三方 dll,调用其 gif.AddFrame() 方法,即可将图集合成得到 GIF 动画。

3 工程实例

朱溪水库位于浙江省台州市仙居县,其拦河坝为常态混凝土重力坝,坝顶高程 155.0 m,最大坝高 73.0 m,坝顶宽度 7.0 m,坝顶长度 260.0 m。共设 14 个坝段,横缝间距 18.0~21.5 m,其中 7、8 两个坝段为溢流坝段。混凝土浇筑总量约 $29 \times 10^4 \text{ m}^3$,采用通仓浇筑方式浇筑。坝址流域属亚热带季风气候区,降水量年内分配不均,多集中于梅雨、台风季节。受台风和热带风暴影响的时间大多集中在 7 月下旬至 9 月下旬。台风暴雨不仅降水量大,而且比较集中,因此对度汛要求较高。根据流域暴雨特性,将暴雨洪水划分为梅汛期(4 月 16 日~7 月 15 日)、台汛期(7 月 16 日~10 月 15 日)和非汛期(10 月 16 日~次年 4 月 15

日)三期。

拦河坝主体于 2019 年 10 月 16 日开始首仓浇筑,其度汛规则安排为如 2020 年 4 月 15 日前临时坝体能达到 104 m 高程,4 月 15 日~7 月 15 日可以全坝段上升。如 2020 年 7 月 15 日前坝体能达到 115 m 高程,7 月 15 日~10 月 15 日可以全坝段上升。如 2020 年 4 月 15 日前临时坝体能达到指定高程,但 7 月 15 日前坝体无法达到指定高程,7、8 两个坝段不准浇筑,预留缺口渡汛。10 月 15 日后才能浇筑缺口。如 2020 年 4 月 15 日前临时坝体不能达到指定高程,当年 10 月 15 日前 7、8 两个坝段不准浇筑,预留缺口渡汛。10 月 15 日后才能浇筑缺口。系统运行具体步骤如下。

步骤 1 运行读取数据模块,系统自动获取各坝块信息并将其写入族属性。

步骤 2 运行坝块排序模块,系统提示用户输入约束条件的界面见图 4(a)。之后系统根据约束条件生成浇筑方案和度汛安排,如图 4(b)所示,并将其写入族属性。如某一坝块属性在运行读取数据模块和坝块排序模块后的变化见图 5。



图 4 约束规则输入界面及度汛安排结果

Fig. 4 Constraint interface and flood protection arrangement results

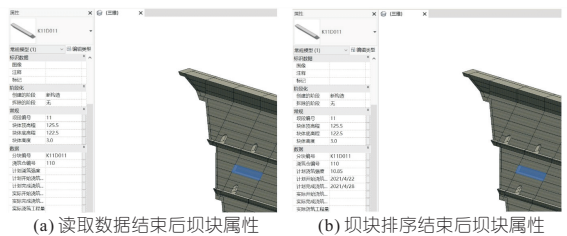


图 5 某一坝块的属性变化

Fig. 5 Changes in the properties of a particular dam block

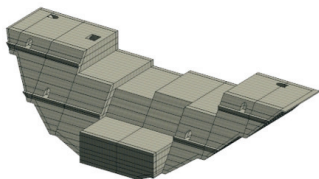
步骤 3 数据处理子系统运行完成后,可对 BIM 模型进行保存操作,这样属性参数会保存在 rvt 文件中,再次打开模型时,无需重复运行数据处理子系统。

步骤 4 为直观显示浇筑方案,可根据需要选择运行成果可视化系统中的模块。朱溪水库拦河坝的浇筑方案甘特图见图 6(a),输入某个节点时间后大坝的面貌见图 6(b)。从大坝的逐日浇筑图中截取一部分见图 6(c),生成的 GIF 动画见图 6(d)。

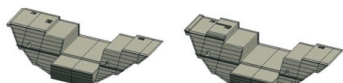


(a) 浇筑方案甘特图

2020年11月27日坝体面貌

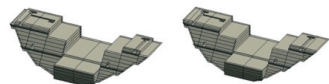


(b) 某时间节点的大坝面貌



2020年9月1日

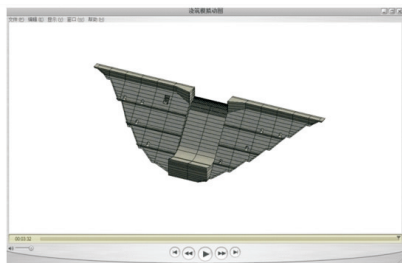
2020年9月10日



2020年9月20日

2020年9月30日

(c) 逐日浇筑图截取



(d) GIF动画

图 6 浇筑方案的可视化成果

Fig. 6 Visualization of the pouring scheme

4 结论

利用 BIM 技术,开发了混凝土重力坝浇筑方案自动规划系统。系统通过提取属性信息,借助属性编码格式,结合约束规则,自动推算坝块浇筑顺序。该系统基于 Revit 平台开发,无需借助其他软件便可实现浇筑方案的制定和可视化展示,只需更换符合编码格式的 BIM 模型,便可运用于其他工程项目,应用前景广阔,极大减少了人力和时间成本。

参考文献:

- [1] 钟登华,吴康新,练继亮,等. 基于模糊规则的大坝混凝土施工跳仓排序研究[J]. 系统仿真学报, 2008(5):1099-1102,1166.
- [2] 王仁超,石英,李名川. 小湾大坝混凝土浇筑施工仿真研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2004(4): 10-14.
- [3] 钟登华,常昊天,刘宁,等. 高堆石坝施工过程的仿真与优化[J]. 水利学报, 2013,44(7):863-872.
- [4] 尹习双,刘金飞. 高拱坝施工进度仿真分析与控制决策关键技术[J]. 水力发电, 2014,40(2):68-71.
- [5] 王翔,杨学红,张克,等. 严寒地区高拱坝混凝土施工进度保障措施仿真[J]. 人民长江, 2022,53(2): 143-147.
- [6] 王婷婷,孙少楠,胡威锋,等. 基于 BIM 技术水闸项目进度优化研究[J]. 价值工程, 2020,39(2):217-219.
- [7] 张社荣,刘珊,王超. 基于 BIM+GIS 的碾压混凝土坝浇筑进度监控平台开发[J]. 水电能源科学, 2021, 39(10):93-97,126.
- [8] 陶玉波,蔺志刚,董甲甲. 基于 BIM 的水利工程 4D 进度监控系统关键技术[J]. 人民黄河, 2019,41(3): 135-139.
- [9] AUTODESK ASIA PTE LTD. AUTODESK REVIT 2013 族达人速成[M]. 上海:同济大学出版社, 2013.

Research on Development of Automatic Planning System for Concrete Gravity Dam Pouring Scheme Base on BIM

HE Tian-xiao¹, YU Hong², SUN Xiao¹

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Zhejiang Design Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power Co., LTD., Hangzhou 310002, China)

Abstract: Manually planning concrete gravity dam pouring scheme is time consuming, lower efficiency and complex. It is also difficult to make adjustment and to visualize the process. An automatic BIM-based pouring scheme planning system is proposed. The system associates the pouring information with the BIM model directly, and is capable to do the pouring-related parameters calculation, pouring constraints customization, dam blocks scheduling, Gantt charts drawing, dam timeframe display, pouring process visualization. Finally, this paper uses the Zhuxi Dam as an example to verify the efficiency and intuitiveness of the system, which provides a reference for research on the development of similar systems.

Key words: BIM; concrete gravity dam; pouring scheme; automatic planning; Revit