

# BIM技术在船闸工程投资管理中的应用<sup>\*</sup>



樊金甲<sup>1</sup>, 孟成成<sup>2</sup>, 潘国华<sup>1</sup>, 宋叶青<sup>1</sup>

(1. 杭州交投建设工程有限公司, 浙江 杭州 330100;

2. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 420071)

**摘要:** 针对船闸工程结构形式复杂、投资额大、投资管理难度大的问题, 引入BIM技术辅助工程投资管理。总结BIM技术在船闸工程设计图纸优化、工程量统计、工程计量支付方面的应用经验, 并基于BIM技术和赢得值理论开发BIM-5D辅助工程投资管理, 为船闸工程提供全面直观的投资管理新模式。实践证明BIM技术可以提升设计质量、减少返工费用, 基于BIM技术的构件级工程计量支付和BIM-5D投资管理技术创新了投资管理手段, 可提高项目投资管理效率和水平, 有效控制工程投资。

**关键词:** BIM; 船闸工程; 投资管理; 应用研究; BIM-5D

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)03-0168-06

## Application of BIM in investment management of lock engineering

FAN Jin-jia<sup>1</sup>, MENG Cheng-cheng<sup>2</sup>, PAN Guo-hua<sup>1</sup>, SONG Ye-qing<sup>1</sup>

(1. Hangzhou Communications Investment Construction Engineering Co., Ltd., Hangzhou 330100, China;

2. CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 420071, China )

**Abstract:** To solve the problem of complex structural style, vast investment, difficult investment control in the construction of lock engineering, BIM technology is introduced to assist investment management. This article summarizes the construction experience including design optimization, engineering quantity statistics, as well as measurement and disbursement of the progress payment. BIM-5D is developed based on BIM technology and earned value theory to assist project investment management, which provides a comprehensive and intuitive new model of investment management for lock engineering. It is found that BIM technology can improve design quality and reduce the cost of rework. Component-level engineering measurement payment and BIM-5D investment management technology based on BIM technology innovate investment management means, improve the efficiency and management level of engineering investment management, and control effectively the project investment.

**Keywords:** BIM; ship lock engineering; investment management; application research; BIM-5D

船闸作为大型综合单体通航建筑物, 结构复杂、涉及的专业多、投资大、建设周期长, 施工工艺复杂、参建单位众多、信息量庞杂、社会民众影响大, 施工组织和协调要求高<sup>[1-2]</sup>。传统的工程投资管理手段难以适应时下的工程投资管理要求。基于此, 探索将BIM技术引入船闸工程项目

的投资管理, 对控制项目投资、透明化决策等均有重要的意义。

传统的工程管理基于二维图纸进行交流, 沟通的相关主体是分离的, 容易造成信息上的不对称, 造成返工和浪费, 对工程投资控制不利。BIM将一个建筑项目生命周期内的所有信息集成到建

收稿日期: 2020-05-30

\*基金项目: 浙江省交通运输厅科研项目(2019038)

作者简介: 樊金甲(1971—), 男, 高级工程师, 从事工程建设管理。

筑模型中, 同时还包括施工进度、工程投资等过程信息<sup>[3-4]</sup>。BIM对建筑业技术革新的作用和意义已在全球范围内得到广泛认可<sup>[5]</sup>。BIM技术提供了较可靠的手段来增强工程投资管理的透明化和预见性。一方面, 将二维图纸转换成三维高精度信息模型, 可以高效、直观地传递工程设计信息、提前发现设计中的问题; 另一方面, 参建各方在基于BIM的虚拟三维数字平台上, 更便于交流和管理, 避免了工程信息传递过程中的不对称和信息孤岛的产生<sup>[6-7]</sup>。

在工程投资管理过程中应用BIM技术能使工程各阶段数据无缝对接, 利用BIM的可视化、协调性、模拟性和优化性的特性, 不同单位可使用同一个模型进行工程投资管理, 达到信息共享、统一计量的目的, 解决了工程各阶段数据不连续、各环节之间协同共享存在障碍的问题。

## 1 工程概况及特点

某船闸为京杭运河与钱塘江的沟通工程, 全长2.973 km, 主要工程建设内容有上游引航道、上闸首、闸室、下闸首、下游引航道、口门导堤以及航标等, 该船闸为Ⅲ级双线船闸, 闸室有效尺度为: 300 m×23 m×4.2 m(长×宽×门槛水深)。船闸的BIM模型见图1。

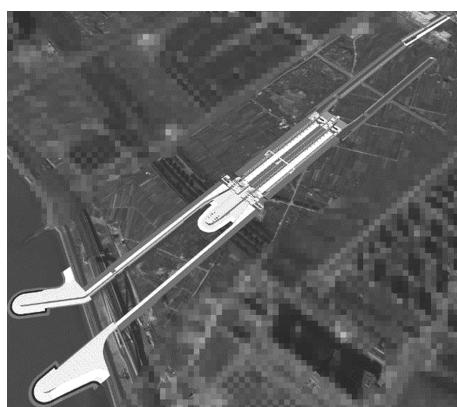


图1 船闸工程BIM模型

工程异形构件多、结构形式相对复杂, 特别是工程中的金属结构种类和数量多、安装精度要求高, 设计过程中极易出现“错、漏、碰、缺”的问题; 总投资大, 土石方、混凝土、金属等工

程量大, 工程量统计困难; 参建单位多, 工程量清单复杂, 计量支付过程中易产生多记、少记和漏记的情况, 工程计量支付管理困难。为了合理控制工程投资, 在施工过程中应用BIM技术, 在设计图纸优化, 工程量统计、工程款计量支付方面为工程投资管理提供技术支持, 并基于BIM和赢得值理论深入开发BIM-5D技术辅助工程投资管理, 为工程提供全面直观的投资管理新模式, 为传统工程建设向智能建筑转型升级奠定技术基础。

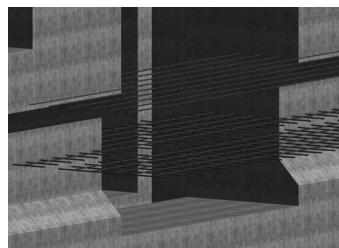
## 2 船闸工程投资管理BIM技术应用

### 2.1 设计图纸优化

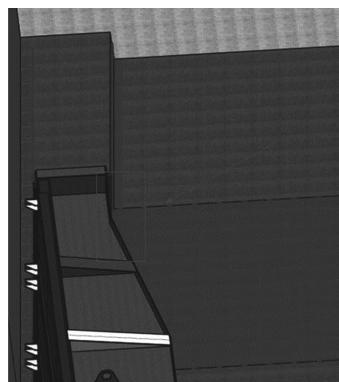
船闸工程专业性强、安装精度要求高, 尤其是闸首、闸室、防咸泵站等部位, 结构复杂, 埋件、金属结构、机电设备多, 管线密集。传统的二维图纸无法直观展示设计的实际效果, 容易出现因协调不足引起的设计错误和碰撞问题, 导致设计变更和施工返工, 对工程总投资产生直接影响<sup>[8-9]</sup>。

BIM技术为工程设计的专业协调提供2种途径。1)协同设计: 在设计过程中, 通过有效的、适时的专业间协同工作避免产生大量的专业冲突问题; 2)碰撞检查: 设计工作初步完成后, 通过对BIM模型进行碰撞检查, 找出图纸中存在的设计问题并修改。应用基于BIM技术的协同设计和碰撞检查功能, 可检查由设计原因引起的“错、漏、碰、缺”, 提升设计质量。在工程建造前能够应用BIM模型逐一进行空间冲突分析, 解决各专业细部冲突, 根据检查结果提早修改, 减少施工返工, 缩短施工时间, 为合理控制工程投资提供技术保障。同时考虑在运维阶段设备运行及维护所需的空间, 降低前期考虑不足造成的影响, 通过基于BIM的软、硬碰撞, 可设定人员及设备工作空间, 动态仿真设备运维的过程与路径, 检查空间的碰撞问题。

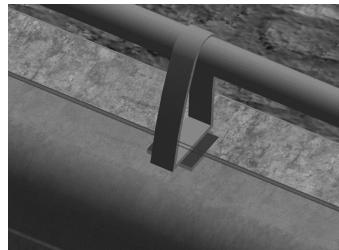
运用Navisworks Manager软件中的软、硬碰撞功能, 结合一般施工流程, 对船闸工程各区域分别进行碰撞检查, 检查到的部分问题如图2所示。



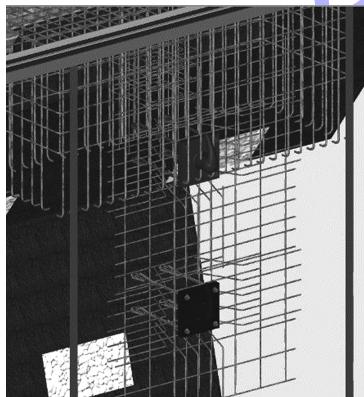
a) 下闸首施工宽缝钢筋外露



b) 护面钢板和检修门轨道槽预埋件碰撞



c) 扶手埋件与弧形护边钢板碰撞



d) 系船钩与靠船墙钢筋碰撞

图 2 碰撞检查结果

通过碰撞检查，共发现 51 类问题，结合工程量清单中的相关报价，预估本次碰撞检查能够节省工程施工费用约 1 200 万元，为项目工程投资的控制提供了有力的技术保障。

## 2.2 工程量统计

船闸工程异形构件种类和数量多，混凝土和钢筋使用量、土方开挖和填方量大。传统二维设计图纸只能用符号、数字和标注的形式来表示设计意图，无法存储可供计算机自动计算工程量的必要信息，一般依靠人工根据图纸或者 CAD 文件进行测量和统计计算的方式，不仅消耗大量的人工，而且容易出现手工计算误差，准确性难以保证。特别是当设计方案调整、工程发生变更的时候需要重新计算统计工程量，增加不必要的重复劳动，费时费力。

随着计算机技术的快速发展和 BIM 技术在建设工程领域中的广泛应用，基础设施领域的工程量计算已逐步由手工计量向软件智能化计量过渡。BIM 是一个富含工程信息的数据库，可以真实地提供造价管理需要的工程量信息，快速完成工程量的自动计算和统计，大大减少繁琐的人工操作和潜在错误，实现工程量信息与设计图纸的一致性。运用 BIM 技术统计工程量，工程量明细表与 BIM 模型即时对应，工程量统计结果随着模型的修改实时调整，减少了重新计算带来的工作量，也避免设计图纸已修改而明细表未更新带来的混乱，可以快速准确地获得工程材料清单基础数据、估算工程造价，非常便捷高效。

基于 BIM 技术的工程量统计有多种方法，采用 BIM 建模软件自带的工程量统计功能方便快捷，但是得出的结果是以模型中每个构件作为独立单元分项列出，这样得到的数据表项目过细、过多且杂乱无序，需要用 Excel 表重新整理；且在构件搭接处存在重复计算，没有扣减，构件中细小的预留孔洞的工程量也会漏算，不符合《工程量清单计价规范》的相关要求。在满足规范要求的前提下，二次开发了基于 Revit 的工程量提取插件，可以按照构件材质批量提取工程量，只需在建立 BIM 模型时准确定义构件的材质信息，对孔洞及模型重合情况进行简单定义后批量提取工程量清单。表 1 为不同方式工程量统计结果对比。

表1 不同方式工程量统计对比

统计方式	C30 混凝土/m <sup>3</sup>	C35 混凝土/m <sup>3</sup>	C30F50 混凝土/m <sup>3</sup>	C15 混凝土/m <sup>3</sup>	二期 C35F50 混凝土/m <sup>3</sup>	钢、碳钢/t	光圆钢筋/t	带肋钢筋/t
Revit 计算	8 220.30	580.60	8 318.40	365.80	229.25	6.120	20.250	50.260
二次开发插件计算	8 345.16	607.28	8 423.54	365.80	229.15	6.100	20.270	50.230
招标文件清单	8 567.64	780.43	9 100.56	310.25	260.59	7.020	21.240	53.219

由表1可以看出, 招标文件工程量清单中的工程量与基于BIM统计的工程量偏差在1%~10%, Revit计算工程量比基于Revit二次开发插件计算工程量小, 偏差较小, 产生偏差的主要原因是部分应该计算混凝土工程量的孔洞没有计量工程量。Revit自带的工程明细表算量功能并不完全符合我国的工程量计算规则和应用需求, 在实际操作中存在不足, 但是经过二次开发、修复后可以较好地统计工程量。

基于BIM的工程量清单对于提高编制招标控制价工作的质量和效率、减轻工作量具有重要的意义。本项目在施工过程中, 施工单位在基于BIM的工程量清单上制定了更加精确的材料及设备采购计划, 最大程度地杜绝材料和机械台班的浪费; 业主单位在基于BIM的工程量清单的基础上更准确地进行进度款的计量与支付, 避免了工程费用多计、少记和漏记的情况, 对控制工程投资起到了积极作用。

### 2.3 计量支付

工程投资控制的首要任务是在不影响工程进度、质量和生产操作安全的前提下, 保证每一笔费用的公正性和合理性, 并且不超出合同规定的计量范围。传统计量支付管理过程存在以下问题: 1) 管理粗放, 按照工程量清单项执行, 不能准确表达每期工程款支付已经完成的工程量和总体工程量; 2) 不够形象直观, 已经完成工程量以二维图纸和计算公式的方式展示, 不能清楚直观地看出每期计量支付所包含的工程内容; 3) 易产生多记、少记和漏记、已计量工作与实际工作完成情况不一致的情况, 投资控制难度大。

基于BIM技术的项目投资管理系统, 通过将工程量清单与构件相互关联, 将工程量清单细化到每个工程构件, 实现了BIM模型与工程量清单

的一一对应, 使每个构件有量可依, 有价可询。在工程进度款计量支付过程中, 依次选择进度款支付周期的计量构件, 输入组成该构件的各种材料的工程量提交计量汇总申请, 审批结束后在计量汇总金额的基础上核增减相关费用, 主要包括价格调整、材料调差、工程变更、施工索赔、保留金、质量保证金、违约金、预付款扣回、违约罚金等费用, 审核结束打印输出满足行业主管部门规定的计量支付档案用于工程进度款支付和归档。流程见图3。

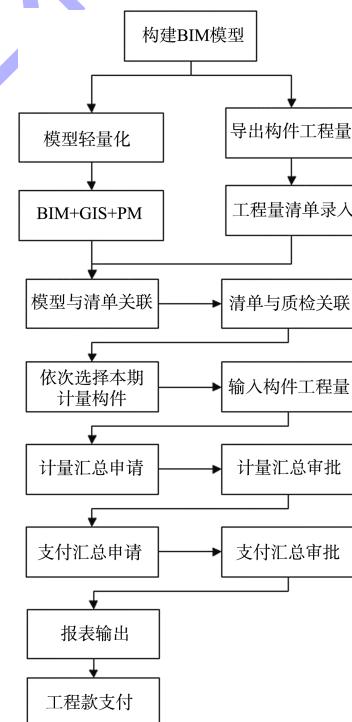


图3 基于BIM的计量支付流程

基于BIM的构件级精细化计量支付投资管理系统在每期进度款支付时只需依次选择需要计量的构件, 系统自动汇总计算, 形成计量支付台账, 极大地提高了计量支付效率。同时将得到建设单位、施工单位和监理单位三方确认的各构件BIM模型工程量作为构件计量工程量申报的最大限额,

防止工程量超额申报。为了最大程度地避免超前计量，保证工程进度款支付内容与实际完成内容相符，将构件的计量支付信息与质量检验信息相关联，只有质量检验合格才允许计量。同时，利用 BIM 模型可直观记录和显示工程构件计量支付状态，防止重复计量和漏计，并可以通过 BIM 模型清楚直观地查看每期工程款支付所包含的工程内容。

#### 2.4 BIM-5D

过去工程费用与进度分开控制，当发现费用超支时，很难立即知道是由于费用超出预算还是由于进度提前造成的；相反，当发现费用低于预算时，也很难立即知道是由于费用节省还是由于进度拖延造成的。赢得值法是对项目费用和进度的综合控制，可以定性、定量地判断进度和费用的执行效果，克服费用与进度分开控制过程中产生的各种问题，但是如果想清楚知道计划工作与实际工作、预算费用与实际费用所对应的具体工作内容还需要借助其他进度或费用管理工具对照分析，结果费时费力且不够清晰易懂。

BIM-5D 技术为解决以上问题提供了行之有效的途径。BIM-5D 是在 BIM 模型的基础上附加时间和投资信息，是面向工程建设管理阶段的信息模型，其以 BIM 模型为基础、工程进度计划（WBS）为核心，附有 WBS 与 BIM 模型以及建设进度、建设费用之间的关联关系，最终建立工程进度信息、投资信息、WBS、以及 BIM 模型之间的相互关联性（图 4）。运用 BIM-5D 技术可实现快速核算工程量、进度计划模拟、实时投资控制，以达到节约投资、提高沟通效率和决策效率的目的。

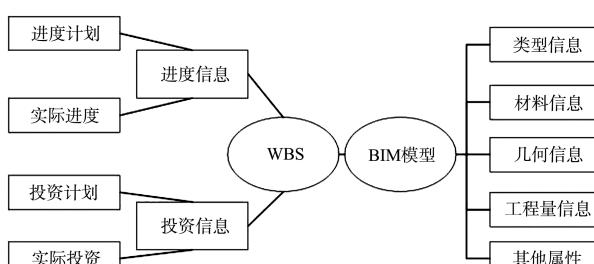


图 4 BIM-5D 数据关系

借助 BIM 技术将项目进度计划与模型构件进行关联。通过对工程的模拟建造，各施工参与方

可以登录云平台查看工程建造过程，及时发现施工部位间逻辑错误问题，以及进度计划不合理的地方，进行调整优化。并将 BIM 技术和赢得值理论有机结合，形成了基于 BIM 的项目进度、费用管理 BIM-5D 模型，开发原理见图 5。项目开始时施工单位将已经制定的进度计划 WBS 导入到项目管理系统中，并将 WBS、BIM 模型、质量验收信息、工程量清单信息相互关联，在设定 WBS 中每项工作的计划产值后提交审核，通过后确认为当前进度计划，在构件质量验收合格后系统会自动提取构件的开工时间及完工时间，并计算施工该构件的预算费用和实际费用，相应计算每项工作的各项赢得值参数，生成赢得值分析曲线。

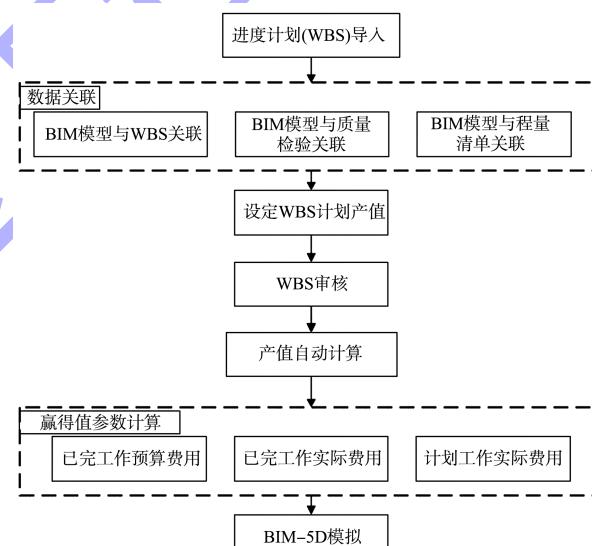


图 5 BIM-5D 开发原理

运用基于 BIM 技术和赢得值理论开发的 BIM-5D 项目管理系统不仅可以准确地模拟随着工程不断向前推进项目进度提前或延后情况、费用节支或超支情况，还能够清楚地看出对应进度和费用所包含的实际工作内容，对加强工程质量、安全、进度、投资等多个项目流程板块之间的协同合作管理具有积极作用，可以根据项目实际工作进展对进度计划做出相应调整，也可以通过查看实际工作内容确定对应工作的质量控制点，和安全管理过程中应该注意的问题。

### 3 结语

1) 工程投资是顺利完成船闸工程建设任务的物质保证, 考虑船闸工程异形构件多、投资大的特点, 引进BIM技术对工程投资进行管理, 探索了BIM技术在船闸工程建设管理阶段投资控制方面的相关应用点, 取得了较好的工程效果。

2) 随着BIM技术的发展、相关标准的完善和数据交互规范的修订与更新, BIM技术在水运行业的应用会日益成熟, 基于BIM技术的设计图纸优化、工程量统计、工程计量支付以及BIM-5D也会朝着更多维度扩展以满足工程数字化、信息化、集成化的更高要求。

3) BIM技术是提高船闸工程信息化管理水平和实现行业转型升级的基础性技术, 运用BIM技术的可视化、协调性、模拟性、优化性对船闸工程的投资进行管理, 可以增强船闸工程建设投资管理的透明度和可追溯性, 减少返工浪费, 提高项目施工阶段投资管理水平, 实现传统的二维图纸到数字化多维设计建造方式的转变, 同时也是传统工程建设向智能建设转型升级的创新性变革。

(上接第158页)

3) 山区通航河流建设中、低水头枢纽后, 对枯水期的水流条件改善明显, 中洪水期对水流条件的改善主要在敞泄前, 敞泄后水流条件与天然情况基本相同。

4) 山区河流中、低水头航电枢纽最大通航流量不应低于天然情况下该河段的禁航流量。

### 参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院.船闸总体设计规范: JTJ 305—2001[S].北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] 郝岭, 谭先泽, 吴文凤.山区河流船闸设计最高通航水位研究[J].水运工程, 2005(4): 52-55.
- [3] 闵朝斌.关于内河设计最高通航水位的标准和计算方法的研究[J].水运工程, 2004(7): 52-55.
- [4] 四川省交通运输厅交通勘察设计研究院.四川省岷江

### 参考文献:

- [1] 汪映红, 刘代全, 刘建华, 等.基于BIM应用的水运工程项目造价管理[J].水运工程, 2019(3): 154-158.
- [2] 刘江林, 宋文涛, 徐军辉, 等.广东北江蒙里枢纽二线船闸工程BIM解决方案[J].水运工程, 2018(3): 135-149.
- [3] 邹艳春, 王炜正, 贺军昌.BIM技术在液化天然气码头工程中的应用[J].水运工程, 2017(7): 160-164.
- [4] 刘照球, 万福磊, 李云贵.BIM内涵及其在设计与施工中的价值分析[J].建筑科学, 2014, 30(7): 80-85.
- [5] 钱丽, 刘松, 孙子宇, 等.BIM技术在水运基础设施的应用及发展战略[J].水运工程, 2017(10): 80-85.
- [6] 郭涛.BIM技术在航道建设中的作用[J].水运工程, 2018(12): 21-25.
- [7] 芦志强, 苏东升, 崔峰.集装箱码头设计施工一体化BIM应用[J].中国港湾建设, 2018, 38(8): 36-39, 48.
- [8] 李玲君, 陈璐.BIM技术在船闸三角闸门设计中的应用[J].水运工程, 2019(6): 147-151.
- [9] 李超军, 叶雅思, 唐洁.BIM技术在船闸金属结构全生命周期中的应用[J].水运工程, 2019(3): 159-164.

(本文编辑 郭雪珍)

东风岩航电枢纽船闸工程可行性研究报告[R].成都: 四川省交通运输厅交通勘察设计研究院, 2011.

- [5] 湖南省水利水电勘测设计研究总院.四川省岷江航电东风岩枢纽工程水工模型试验研究报告[R].长沙: 湖南省水利水电勘测设计研究总院, 2011.
- [6] 交通运输部天津水运工程科学研究院.内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程: JTS/T 231-4—2018[S].北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- [7] 交通运输部天津水运工程科学研究所.通航建筑物水力学模拟技术规程: JTJ/T 235—2003[S].北京: 人民交通出版社, 2004.
- [8] 四川省交通厅内河勘察规划设计院.嘉陵江航运梯级开发关键技术研究—山区河流渠化枢纽总体布置综合研究报告[R].成都: 四川省交通厅内河勘察规划设计院, 2003.

(本文编辑 郭雪珍)