

# 基于 BIM 技术的港口工程施工管理系统研究

张陆一

(中交天津港湾工程研究院有限公司)

**摘要:** 为了解决传统港口工程施工管理中信息共享不足、进度控制不精确等问题,设计了基于 BIM 技术的港口工程施工管理系统。采用 Revit 进行参数化建模,实现了包括码头、堆场等工程构件的三维可视化;通过 4D 施工模拟和移动端实时数据采集,建立了进度偏差自动预警机制;基于 BIM 模型开发了质量检查和安全风险预测功能。实践应用表明,该系统使项目平均进度偏差率从 15%降至 5%,质量合格率提高了 10.2%,安全隐患整改率提高了 11.8%;通过优化施工方案和减少返工,节约工期 15 d,创造经济效益 1 500 万元,投资回报率达 200%。研究成果为港口工程施工管理的信息化和现代化提供了新的技术方案,具有显著的实用价值。

**关键词:** BIM; 港口工程; 管理系统; 信息化

## 0 引言

近年来,随着我国经济贸易的快速发展,沿海港口建设获得了新的发展机遇。港口工程作为复杂的大型工程项目,具有工期长、受地理环境和水文环境影响等特点。传统的港口工程施工管理模式已难以满足现代化港口建设的需求,需要引入新的技术和管理方法。

BIM (Building Information Modeling) 技术作为一种新兴的信息化管理工具,在建筑领域已经得到了广泛应用。将 BIM 技术评估港口工程施工管理,能够实现工程信息的集成化管理、动态模拟展示和可视化。因此,研究基于 BIM 技术的港口工程施工管理系统具有重要的理论意义和实际应用价值。

本文通过 BIM 技术的应用,解决传统港口工程施工管理中存在的信息孤岛、效率低、进度控制不准确等问题,提高港口工程的施工管理水平、缩短工期、降低成本、提升工程质量同时,也为推动港口工程施工管理信息化和现代化提供了新的思路和方法。

## 1 港口工程施工管理现状分析

传统的港口工程施工管理模式主要依赖于二维图纸、文档和经验管理,存在诸多问题。各专业、各阶段的信息难以有效整合,形成信息孤岛,导致信息共享不足;不同参与方之间的沟通协作效率低下,容易造成误工和返工;传统的网络计划法难以准确反映实际施工进度,无法及时发现和解决问题,导致进度控制不精确;质量问题往

往在施工后期才被发现,增加了返工成本,造成质量管理滞后;同时,难以对施工现场的安全风险进行有效预测和预防,安全管理呈现被动状态。这些问题严重影响了港口工程的施工效率和质量,亟需采用新的技术和管理方法来改善。

鉴于传统港口工程施工管理模式存在的问题,引入 BIM 技术至关重要。BIM 技术可以将港口工程各专业、各阶段的信息整合到一个三维模型中,实现信息的统一管理和共享,从而解决信息孤岛问题。通过 BIM 平台,各参与方可以实时交流和协作,大大提高工作效率。BIM 技术还能实现施工进度的可视化模拟和动态跟踪,提高进度控制的精确性。在质量管理方面,BIM 模型的碰撞检测等功能可以提前发现和解决质量问题,减少返工。此外,BIM 技术可以模拟施工过程中的安全风险,实现主动预防,从而加强安全管理。这些优势使得 BIM 技术成为改善港口工程施工管理的有力工具。

## 2 BIM 技术在港口工程施工管理中的应用

### 2.1 BIM 技术概述

BIM (建筑信息模型) 技术是一种基于三维数字技术,集成了建筑工程项目各种相关信息的工程数据模型。它具有可视化、协调性、模拟性、优化性和可出图性等特点<sup>[1]</sup>。BIM 技术的核心是建立包含几何信息、物理信息和功能特性的数字化表达。

### 2.2 BIM 技术在港口工程建模中的应用

在港口工程中,BIM 技术可以用于创建包括

码头、堆场、仓库等的全面三维模型。建模过程主要包括以下关键步骤：首先是数据收集，收集港口工程的地形、地质、水文等基础数据；然后使用 Revit 等软件进行参数化建模；然后将各专业模型整合到一个统一的 BIM 模型中；最后进行模型检查，包括碰撞检测等，以确保模型的准确性和完整性<sup>[2]</sup>。这个过程不仅能够创建出高精度的港口工程三维模型，还能在建模过程中发现并解决潜在的设计问题，为后续的施工管理奠定坚实的基础。

### 2.3 BIM 技术在施工进度管理中的应用

BIM 技术在港口工程施工进度管理中发挥着关键作用，通过将三维模型与施工进度计划相结合，实现了 4D 施工模拟和动态跟踪控制。在施工前期，系统可生成直观的施工过程模拟，帮助管理人员发现工序冲突并优化施工方案；在施工过程中，通过将现场采集的实际进度数据与 BIM 模型中的计划进度进行实时对比分析，系统能够及时识别进度偏差，为管理人员提供精确的进度监控和预警信息，从而实现对施工进度的全过程动态管理。基于 BIM 的进度管理方法显著提升了传统施工管理的精确性和效率，为项目的如期完工提供了有力保障。

### 2.4 BIM 技术在施工质量管理中的应用

BIM 技术可以通过多种方式显著提升港口工程的质量管理水平。首先，自动检测不同专业之间的碰撞问题，有效避免施工过程中可能出现的冲突。其次，BIM 技术支持参数化质量检查，可以根据预设的质量标准自动检查模型，确保设计和施工符合规范要求<sup>[3]</sup>。此外，BIM 技术还能够实现质量问题的可视化，直观地显示质量问题的位

置和严重程度，可以使质量管理人员快速地定位和解决问题。这些功能大大提高了质量管理的效率和准确性，有助于降低返工率，提升整体工程质量。

### 2.5 BIM 技术在施工安全管理中的应用

BIM 技术在港口工程安全管理中的应用涵盖了多个重要方面。模拟施工过程中可能出现的安全风险，提前识别和评估潜在危险。通过虚拟施工，BIM 技术还可以优化安全防护方案，使得安全措施更加有效和经济。此外，BIM 模型为安全教育培训提供了直观、生动的教学工具，使得施工人员能够更好地理解和记忆安全规程。这些应用共同构成了一个全面的安全管理体系，显著提高了港口工程的安全水平，减少了事故发生的可能性，为工程的顺利进行提供了有力保障。

BIM 技术在港口工程施工管理中的应用效果对比见表 1。由表 1 可以看出，BIM 技术在港口工程施工管理中的应用可以显著提高管理效率和效果，为港口工程的高质量建设提供有力支持。

表 1 BIM 技术在港口工程施工管理中的应用效果对比

| 应用领域 | 传统方法        | BIM 方法      | 提升效果            |
|------|-------------|-------------|-----------------|
| 进度管理 | 平均偏差率 15%   | 平均偏差率 5%    | 质量合格率 66.7%     |
| 质量管理 | 质量合格率 88%   | 质量合格率 97%   | 质量合格率提高了 10.2%  |
| 安全管理 | 安全隐患整改率 85% | 安全隐患整改率 95% | 安全隐患整改率提高 11.8% |

## 3 基于 BIM 技术的港口工程施工管理系统设计

### 3.1 系统总体架构

基于 BIM 技术的港口工程施工管理系统采用三层架构设计，包括数据层、应用层和用户层。系统架构图见图 1。

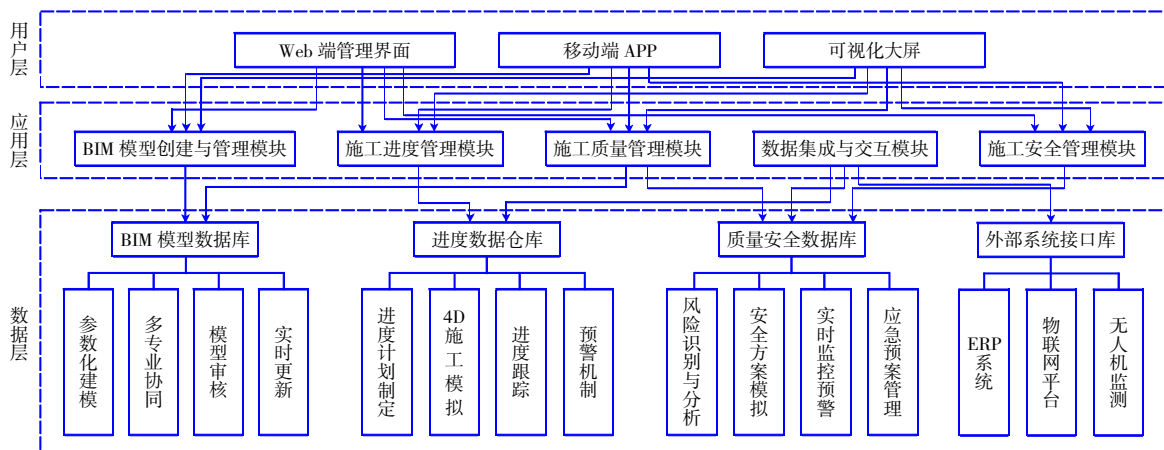


图 1 基于 BIM 技术的港口工程施工管理系统架构图

### 3.2 BIM 模型创建与管理模块

BIM 模型创建与管理模块是系统的核心, 其功能涵盖了港口工程 BIM 应用的全过程。首先, 支持基于 Revit 等软件进行港口工程各构件的参数化建模, 为精确的三维表达奠定基础<sup>[4]</sup>。其次, 该模块能够将各专业模型整合到统一的 BIM 平台, 实现多专业协同。模型审核功能包括碰撞检测和一致性检查, 确保模型的准确性和完整性。最后, 根据施工进度实时更新 BIM 模型的功能使得模型始终能反映工程的最新状态。这些功能的有机结合, 使 BIM 模型成为贯穿港口工程全生命周期的数字化载体, 为后续的进度管理、质量控制和安全监督提供了可靠的信息基础。

### 3.3 施工进度管理模块

施工进度管理模块是系统的关键组成部分, 其功能全面覆盖了进度管理的各个环节。该模块支持基于 BIM 模型制定详细的施工进度计划, 为项目管理提供精确的时间框架。通过将 BIM 模型与进度计划结合, 实现了 4D 施工模拟, 使施工过程可视化, 便于直观理解和优化施工序列。模块还支持实时进度跟踪, 通过移动端输入实际进度数据, 与计划进度进行实时对比。最后, 模块能够自动计算进度偏差, 并在偏差超过预设阈值时发出预警信息, 能够及时发现和解决进度问题, 确保项目按期完成。这些功能的整合大大提高了进度管理的精确性和实时性, 为港口工程的顺利实施提供了有力保障。

### 3.4 施工质量管理模块

施工质量管理模块是系统中确保工程质量的重要组成部分, 其功能设计全面且实用。该模块允许在 BIM 模型中设置质量检查标准, 为后续的质量管理奠定基础。基于这些标准, 模块能够自动进行质量检查, 大大提高了检查效率和准确性。当发现质量问题时, 模块可以在 BIM 模型中直观地显示问题位置, 从而快速定位和处理问题。此外, 模块还能自动生成质量检查报告, 为项目管理和质量改进提供详细的数据支持。这些功能的结合不仅提高了质量管理的效率, 还增强了质量控制的精确度和可追溯性, 有效保障了港口工程的整体质量水平。

### 3.5 施工安全管理模块

施工安全管理模块是系统中保障工程安全的关键部分, 其功能设计全面而深入。该模块能够

基于 BIM 模型识别潜在的安全风险, 为安全管理提供前瞻性的分析。通过使用 BIM 模型模拟不同安全方案的效果, 可以选择最优的安全防护措施。模块还支持实时监控施工现场的安全状况, 及时发现和处理安全隐患。此外, 模块还包含了应急预案的制定和管理功能, 为突发事件的处理提供可靠的指导。这些功能的整合不仅提高了安全管理的预防性和针对性, 还增强了应对突发事件的能力, 全面提升了港口工程的安全管理水平。

### 3.6 系统功能集成与数据交互

系统各模块之间通过高效的数据交互实现了全面的功能集成。这种集成主要体现在 BIM 模型数据与进度、质量、安全数据的紧密关联, 确保了各类信息的一致性和完整性。同时, 系统支持各模块数据的实时更新和同步, 使得所有参与方都能获取最新、最准确的项目信息。此外, 系统还提供了统一的数据接口, 实现了与其他系统的无缝数据交换, 进一步扩展了系统的应用范围和功能。这种全面的数据集成和交互不仅提高了系统的整体效率, 还为项目管理决策提供了全面、及时的数据支持, 显著增强了港口工程的管理水平。

## 4 系统应用案例分析

### 4.1 BIM 模型的创建

以某深水港口工程为例, 项目主要包括 1 000 m 长的码头和 50 万 m<sup>2</sup> 的堆场。项目总投资 10 亿元, 计划工期 24 个月。

本项目使用 Autodesk Revit 2023 软件创建了一个高度精细的港口工程 BIM 模型。该模型涵盖了整个港口工程的各个关键组成部分, 包括 1 000 m 长的码头结构、50 万 m<sup>2</sup> 的堆场、内部道路系统以及复杂的地下管网等。

模型创建过程遵循了严格的参数化建模原则, 确保了模型的精确性和可调整性。码头结构模型包含了详细的钢筋混凝土结构, 包括桩基、承台、梁柱系统等。堆场模型不仅包括了地面铺装, 还模拟了各种集装箱堆放场景。道路系统模型包含了路面结构层、交通标志和照明设施。地下管网模型则详细展示了给排水、电力、通信等管线的精确布局。

整个 BIM 模型包含约 50 万个构件, 每个构件都附带了丰富的属性信息, 如材料、规格、强度等。模型的总文件大小约为 2 GB, 考虑到了文件大小和模型精度之间的平衡。

#### 4.2 施工进度管理应用

基于创建的 BIM 模型,制定了详细的施工进度计划,并进行了 4D 施工模拟。这种方法不仅可以直观地展示施工过程,还能帮助管理人员优化施工方案,提前发现潜在问题。

开发了一个移动端应用,使现场施工人员能够每日更新实际进度。系统会自动将实际进度与计划进度进行对比,计算进度偏差,并生成分析报告,部分数据如表 2 所示。

表 2 施工进度对比分析

| 工作项目 | 计划进度/% | 实际进度/% | 原材料偏差率/% | 偏差状态 |
|------|--------|--------|----------|------|
| 桩基工程 | 85     | 82     | -3.53    | 落后   |
| 围堰工程 | 70     | 73     | 4.29     | 提前   |
| 主体结构 | 45     | 42     | -6.67    | 落后   |
| 堆场平整 | 60     | 62     | 3.33     | 提前   |
| 码头面层 | 30     | 29     | -3.33    | 落后   |
| 设备安装 | 20     | 22     | 10.00    | 提前   |
| 管网铺设 | 40     | 38     | -5.00    | 落后   |
| 道路工程 | 55     | 54     | -1.82    | 落后   |

为了更直观地展示施工进度情况,绘制施工进度对比见图 2,进度偏差分析见图 3。

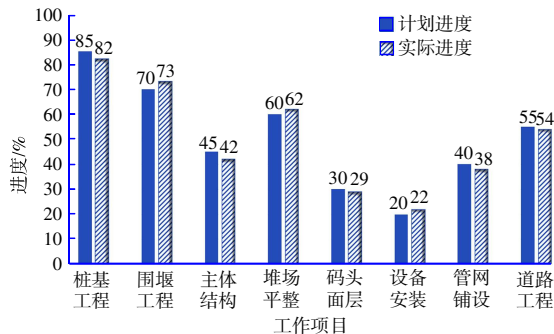


图 2 施工进度对比图

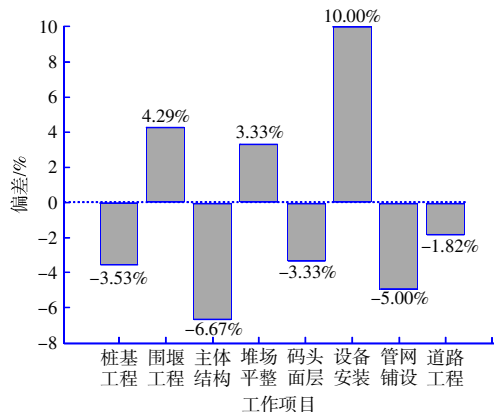


图 3 进度偏差分析图

通过表 2、图 2、图 3,可以清楚地看到各工作项目的进度情况和偏差程度。例如,设备安装进度超前最多,而主体结构进度落后最多。这些信息提供了重要的决策依据,从而及时调整资源分配,确保项目按期完成。此外,还建立了一个进度预警系统。当某个工作项目的进度偏差超过预设阈值(如 $\pm 5\%$ )时,系统会自动发出预警信息。从而能够及时发现并解决进度问题,最大限度地减少工期延误的风险。

#### 4.3 质量与安全管理应用

在质量管理方面,充分利用 BIM 模型进行了全面的质量检查。通过模型的碰撞检测功能,发现并解决了 23 处设计碰撞问题,其中包括:结构与管线碰撞 15 处,设备与结构碰撞 5 处,管线与管线碰撞 3 处。这些问题的及时发现和解决,避免了施工过程中可能出现的返工,节省了大量的时间和成本。

在安全管理方面,利用 BIM 模型进行了多种施工场景的模拟,特别是对高风险区域进行了重点分析。通过 BIM 模拟,优化了临边防护方案,包括:调整了码头边缘的防护栏设计,增加了防护网的高度和强度,优化了大型设备的吊装路径,避开了人员密集区域,重新规划了施工区域的交通动线,减少了车辆与行人的交叉点。

这些优化措施显著减少了潜在的安全隐患,提高了施工现场的整体安全水平。通过 BIM 技术的应用,实现了从被动应对到主动预防的安全管理模式转变,为项目的顺利实施提供了有力保障。

#### 4.4 应用效果分析

通过应用基于 BIM 技术的港口工程施工管理系统,项目在进度控制、质量管理和安全管理 3 个关键方面取得了显著成效。如图 4 所示。

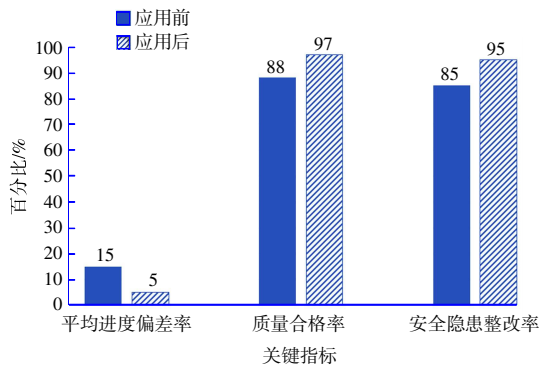


图 4 BIM 系统应用前后关键指标对比

图 4 表清晰地展示了 BIM 系统应用前后关键指标的变化。具体来看：平均进度偏差率从 15% 降低至 5%，降低了 66.7%。质量合格率从 88% 提升至 97%，提高了 10.2%。安全隐患整改率从 85% 提升至 95%，提高了 11.8%。通过这些数据，BIM 系统应用使项目管理从经验驱动转向实时数据决策，依托进度偏差预警、质量监测及隐患整改追踪等动态数据，构建科学决策体系；安全管理从“被动应对”升级为“主动免疫”，为工程安全树立数字化转型新标杆。

经济效益分析方面，系统的应用使项目工期缩短 15 d，节约成本约 1 500 万元。计算了投资回报率：

$$ROI = \frac{\text{项目收益} - \text{系统投资成本}}{\text{系统投资成本}} \times 100\%$$

系统投资成本为 500 万元，则  $ROI=200\%$ 。

该项目的  $ROI$  达到 200%，具有显著的经济效益。成本节约主要来自以下方面：工期缩短从而减少人工成本（约占 35%）、材料损耗减少（约占 25%）、设计优化（约占 20%）以及管理效率提升带来的其他间接收益（约占 20%）。不仅证明了 BIM 技术在港口工程中的应用价值，也为未来进一步推广和优化 BIM 系统提供了有力的支持。

5 结语

本研究设计并实现了基于 BIM 技术的港口工程施工管理系统，取得了一系列重要成果。研究

表明，BIM 技术能有效解决传统港口工程施工管理中的信息孤岛、协同效率低等问题，基于 BIM 的施工管理系统在进度、质量、安全等方面均取得显著成效。系统的应用不仅提高了管理效率，还带来了可观的经济效益，展现出良好的应用前景。这些成果证明了 BIM 技术在港口工程施工管理中的巨大潜力，为推动行业信息化和现代化发展提供了有力支撑。

未来，本研究还有进一步深化和拓展的空间。首要任务是进一步提高 BIM 模型的精度和实时更新能力，以更好地反映工程实际状况。其次，将探索 BIM 与人工智能、物联网等新兴技术的深度融合，以增强系统的智能化水平和预测能力。最后，计划扩展系统功能，实现覆盖设计、施工、运营维护的全生命周期港口工程信息化管理。这些努力将进一步提升 BIM 技术在港口工程领域的应用价值，为行业的持续创新和发展注入新的动力。

参考文献：

- [1] 许荣. BIM 技术在港口工程施工进度管理中的应用[C]//中国交通建设管理协会. 中国交通建设监理协会 2022 年度学术论文集. 2023:157-158.
- [2] 唐小龙. BIM 技术在港口工程施工进度管理中的应用[J]. 中国水运, 2021(17):59-60.
- [3] 谢炳燊. BIM 技术在港口工程施工进度管理中的应用研究[J]. 智能城市, 2020, 6(8): 130-131.
- [4] 季辰. BIM 技术在港口工程施工进度管理中的应用研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2018.