

# 第三届“智联杯” openBIM 应用白皮书



## 参编人员

李波 魏来 张学生 黄爽 周琳瑜 张震 冯帆 施晨欢 贺苗苗 周文

## 案例编写人员

陆亚东 史文先 周跃飞 沈永然 张 雷 高世杰 刘钦攀 朱 明 卢文龙 李登峰  
周纯玮 李国华 蔡典维 陈 浩 孙东旭 张 茅 胡立新 杜劲峰 陈 刚 杨咏漪  
杨吉忠 李 洲 罗 廷 张光举 李晋生 向建国 杨 军

## 参编单位

中国房地产业协会数字化分会  
buildingSMART 中国  
科尼数字科技（上海）有限公司

## 案例编写单位

中国水利水电第十四工程局有限公司  
西华大学  
中铁二院工程集团有限责任公司  
四川蜀道新制式轨道集团有限责任公司  
中交一公局集团有限公司海外分公司  
湖南省第二工程有限公司  
中国建筑第二工程局有限公司  
中建二局第三建筑工程有限公司  
上海城建数字产业集团有限公司  
浙江镜岭水库有限公司  
上海城建信息科技有限公司  
北京北辰会展投资有限公司  
北京市建筑设计研究院股份有限公司

## 目录

一、优秀案例背景 .....	1
1.1 评选范围 .....	1
1.2 评选原则 .....	2
二、数据分析 .....	3
2.1 参赛项目分类与通过率分析 .....	4
2.2 参赛项目软件厂商应用分布 .....	6
2.3 参赛项目技术应用占比分析 .....	10
2.4 参赛项目各省得分占比分析 .....	11
2.5 趋势总结 .....	14
三、技术与应用 .....	14
3.1 传统 BIM 建模与 BEP .....	15
3.2 CDE 平台 .....	20
3.3 OpenBIM .....	24
3.4 数字孪生 .....	33
四、案例分享 .....	39
4.1 案例分享汇总 .....	39
4.2 案例展示 .....	40
五、行业趋势和未来展望 .....	116
5.1 行业趋势 .....	116
5.2 未来展望 .....	117

## 前言

buildingSMART中国智联杯openBIM优秀案例，作为建筑行业创新竞赛的典范，已顺利举办至第三届，其广泛的参与度体现了业界对创新竞赛的高度重视。在同类型优秀案例的评审实践中，项目同质化现象日益显著，而现行评审机制主要依赖于定性评价，未能充分运用定量分析。这些问题限制了优秀案例在激发行业创新方面的效能，并影响了对项目间细微但关键差异的识别。此外，尽管同类型优秀案例在评审结束后能够产生一定的行业影响力，但普遍存在一个问题：缺乏对评审过程和结果的系统性总结和深入分析。这意味着优秀案例未能为参赛者、评审专家以及整个行业提供一个清晰的反馈机制，从而限制了从优秀案例中学习和提炼经验教训的机会，也影响了优秀案例在推动行业标准和实践发展方面的长远影响。

为了填补这一研究空白，本届优秀案例采取了创新的评审策略，引入了buildingSMART国际评审方法，并融合了国内外的评审经验，旨在构建一个更科学、更客观的评审体系。优秀案例结束后，将发布白皮书，进行深入的行业调研和内容分析，以期为行业提供更有价值的反馈和指导。这些措施不仅提升了评审精确度和深度，也为建筑行业的持续创新和发展提供了新的视角，促进了与建筑行业同仁的有效交流与学习，为共同进步搭建了桥梁。

## 一、优秀案例背景

2022 年 buildingSMART 中国首届“智联杯”openBIM 应用优秀案例的举办，秉承着响应《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》的指导精神，致力于推动建筑行业的数字化转型。该优秀案例通过竞争机制，旨在激发建筑信息模型（BIM）技术的创新潜力，并促进其在实践中的应用。通过这一平台，BIM 技术在提升建筑项目效率、质量和促进项目参与各方协同合作方面的显著优势得到了充分展示。

同时，优秀案例与国际权威 BIM 组织 buildingSMART 的紧密合作，进一步凸显了采用 openBIM 标准在建筑资产全生命周期管理中实现数据、流程和人员互联互通的重要性。此外，优秀案例亦将教育和人才培养作为其核心使命，致力于培育一批精通 BIM 技术、具备创新精神和跨学科能力的专业人士，以满足建筑行业对于高素质人才的迫切需求，并为行业的可持续发展提供强有力的人才支撑。历经几年发展，智联杯应用优秀案例已成为推动行业技术进步、促进创新思维和人才培养的重要学术与实践平台。

为推动国际 openBIM 标准体系在中国落地，促进工程建设行业高质量数字化转型，buildingSMART 中国特联合中国房地产业协会数字化分会、共同举办 2024 年 buildingSMART 中国第三届“智联杯”openBIM 应用优秀案例评选活动。buildingSMART 中国“智联杯”openBIM 应用优秀案例评选活动是 buildingSMART 中国举办的唯一 BIM 评选活动，也是 buildingSMART 国际 openBIM 大奖赛的支撑活动。

### 1.1 评选范围

#### (1) 评选内容

满足 openBIM 技术的综合应用，内容可以涉及以下四大类：项目交付类、运维类、科研类、技术类。

## (2) 评选范围

在全国范围内，符合国家工程建设管理规定，已采用 BIM 技术进行设计、施工、运维且运用 openBIM 标准\人工智能(AI)\物联网(IoT)\数字孪生\双碳\可持续等技术应用的工程项目典型案例。

## (3) 申报和推荐渠道

各参评单位本着自愿原则向评选活动办公室进行申报。

## (4) 参评主体

凡对评选活动有兴趣的技术人员(包括在企事业单位从事相关工作的从业人员、大中专院校相关学科的师生、其他教育、研发机构的相关人员等)

## 1.2 评选原则

(1) 评选全过程将严格执行“公平、公正、公开”的总原则；活动将由各联合主办方专家组成评委会，对所有参评作品进行打分，取平均分进行评选；

(2) 在活动截稿进入评选阶段后，活动评审委员会将进行初评、复评和终审，决定每小类评选出优秀案例及最佳案例。

本次活动分为以下四大类十四个小类，评选结果将按类别分设为若干优秀案例及一个最佳案例。

### (1) 项目交付类分设以下小类内容：

- 设计阶段 openBIM 的技术应用
- 建造阶段 openBIM 的技术应用

- 竣工移交阶段 openBIM 的技术应用

(2) 运维类分设以下小类内容:

- openBIM 在资产管理中的应用
- openBIM 在设施管理中的应用

(3) 科研类分设以下小类内容:

- openBIM 的专业研究
- openBIM 在校学生研究
- 双碳及可持续专业研究
- 工厂预制化专业研究
- 人工智能或物联网专业研究

(4) 技术类分设以下小类内容:

- IFC (Industry Foundation Classes) 数据标准的技术解决方案
- 数字孪生 DT (Digital Twin) 的解决方案
- 通用数据环境 CDE (Common Data Environment) 的解决方案
- 智慧城市 CIM (City Information Modeling) 的解决方案

## 二、数据分析

评分规则说明

本评分数据来源于参赛项目申报材料，采用量化计分制：

1. 软件应用维度（7 项）

项目中使用以下任意一款软件的深度应用即得 1 分：

- 欧特克 (Autodesk)

- 奔特力 (Bentley)
- 达索 (Dassault)
- 天宝 (Trimble)
- 广联达
- 品茗
- 鲁班

## 2. 技术应用维度 (7 项)

项目实施以下任意一项技术即得 1 分：

- MVD (模型视图定义)
- BCF (BIM 协作格式)
- BEP (BIM 执行计划)
- IFC (工业基础类)
- CDE (通用数据环境)
- 数字孪生 (Digital Twin)
- openBIM

计分规则：

软件与技术维度独立计分，每满足 1 项得 1 分

单个项目理论满分 14 分 (7 项软件+7 项技术)

最终得分按实际应用项数累加计算

### 2.1 参赛项目分类与通过率分析

参赛项目初评结果

本届优秀案例共接收报名项目 254 项，其中有效提交 241 项。经初评筛选，通过项目 162 项，初评通过率为 66.00%。通过项目中，各分类占比分布如下：

项目交付类：64 项（39.50%）；

技术类：50 项（30.86%）；

科研类：42 项（25.93%）；

运维类：6 项（3.70%）；

项目类别与项目数量及占比分布

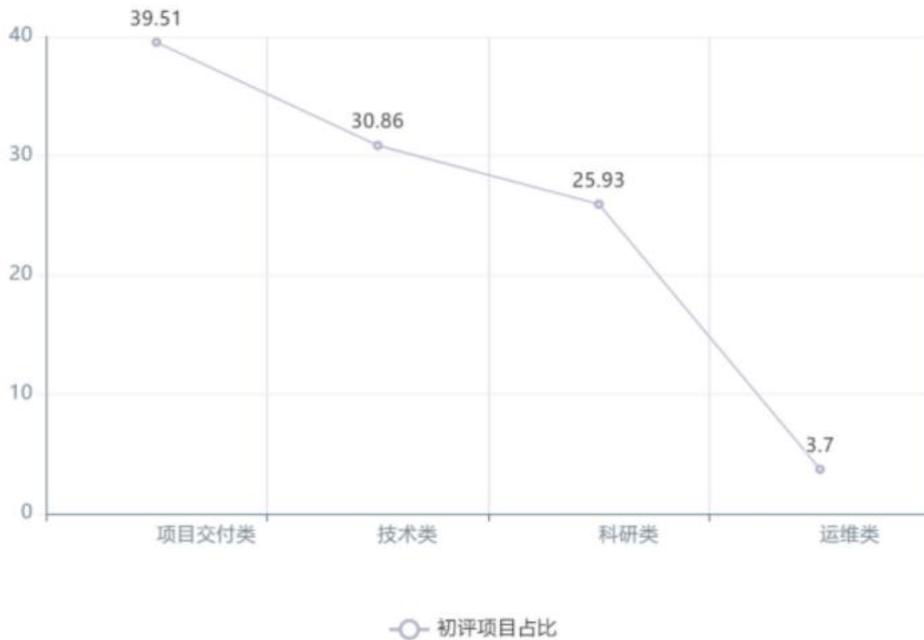


图 1

### 参赛项目复评结果

复审阶段共筛选通过项目 59 项，占有效提交项目总数（241 项）的 24.48%。本次复评通过率显著低于社团组织设定的 40.00% 基准要求，表明评审标准趋严或项目整体质量需进一步提升。

### 参赛项目终评结果

终评环节共 23 项参评项目入围，项目交付类 7 项，技术类 7 项。科研类 7

项；运维类 1 项；

经终评专家组综合评分，各类别得分最高的项目获颁“最佳案例奖”，其余项目均授予“优秀案例奖”。本届共选出 11 项最佳案例奖项，48 项优秀案例奖。奖项旨在表彰技术创新性与实践价值的标杆项目，同时激励更多优质成果的产出。

## 2.2 参赛项目软件厂商应用分布

参赛项目应用的软件厂商涉及欧特克、奔特力、达索、天宝、广联达、品茗及鲁班，以下是应用占比情况图。

软件厂商应用分布占比情况

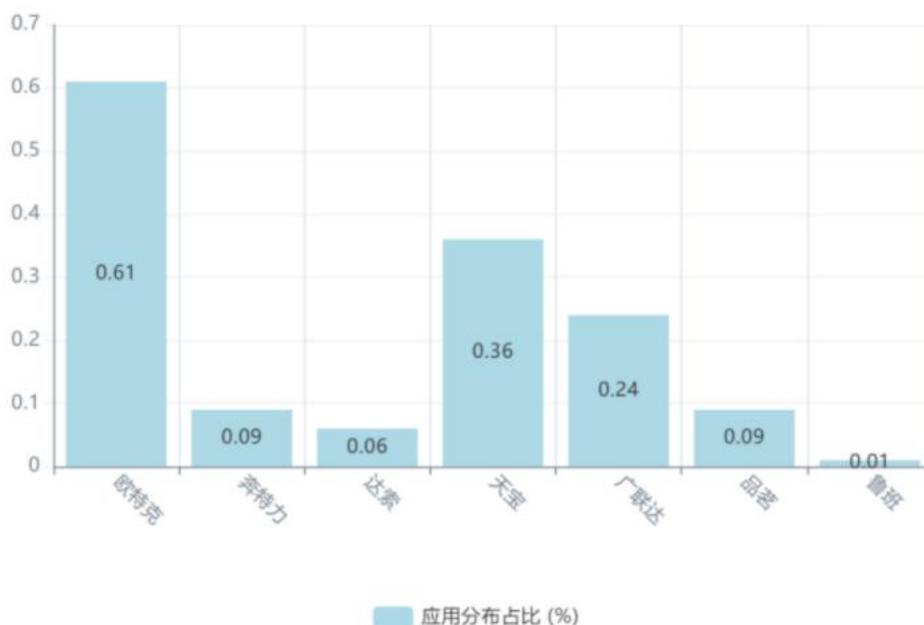


图 2 软件厂商应用占比情况

### 国外软件厂商分布

国外软件厂商在本次参赛项目中占据主导地位，具体占比情况如下：

- 欧特克 (Autodesk)：156 项 (61.42%)；
- 天宝 (Trimble)：91 项 (35.83%)；

- 奔特力 (Bentley) : 24 项 (9.45%) ;
- 达索 (Dassault Systèmes) : 14 项 (5.51%) 。

(注: 因项目可多选软件厂商, 总占比超过 100%)

国外软件厂商占比情况

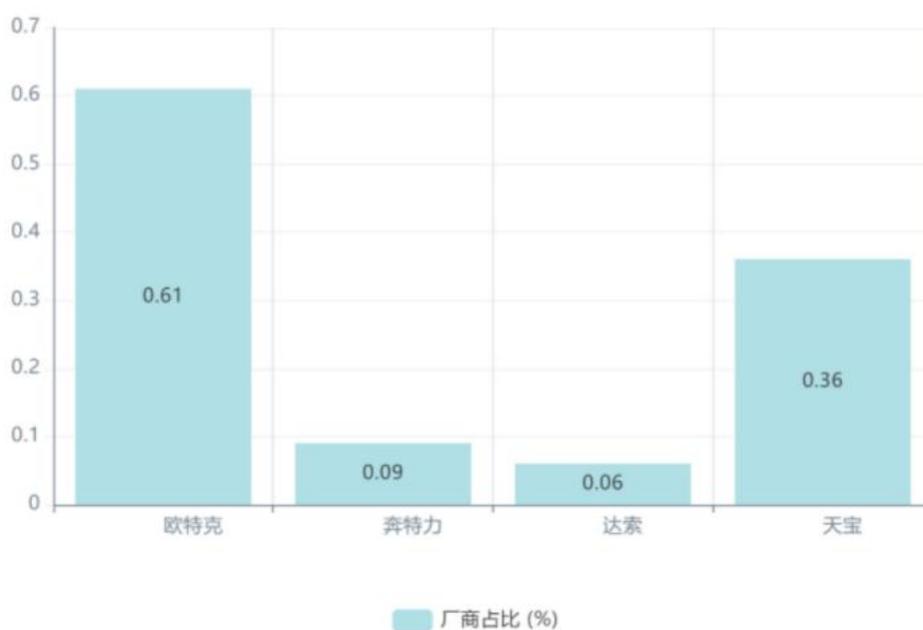


图 3 软件厂商应用占比情况

数据显示, 欧特克 (Autodesk) 以超六成的市场份额占据领先地位, 其优势源于 AutoCAD、Revit 等核心产品的广泛应用。天宝 (Trimble) 凭借软硬件协同解决方案, 市场份额跃升至 35.83%, 位列第二。奔特力 (Bentley) 与达索 (Dassault Systemes) 则分别在专业工程设计与工业软件领域保持竞争力。

#### 竞争力分析:

欧特克在建筑行业软件市场中占据主导地位, 市场占比高达 61.42%。这一显著的市场份额得益于其强大的产品线, 包括 AutoCAD、Revit 和 ACC 等, 这些工具广泛应用于设计、建模和项目管理。欧特克的市场优势在于其软件的广泛认

可度、用户基础和技术创新。公司不断推动行业标准的制定，并在云服务和订阅模式方面展现出前瞻性，这进一步巩固了其市场地位。人员培训的覆盖范围广，培训成本比较低，软件本身满足大部分设计师的设计习惯和应用需求。

天宝的市场占比显著提高至 35.83%，这一增长可能归因于软件的操作性和硬件的定位技术的相结合解决方案。天宝提供全面的工作流程解决方案，涵盖建筑和基础设施、地理空间、资源和公用事业以及交通运输等多个领域。此外，天宝的软件能力、营销能力和管理效率也是其保持市场竞争力的关键因素。

奔特力占比为 9.45%，而达索的占比为 5.51%。奔特力专注于为工程师、建筑师、施工人员和地理空间专业人员提供设计、建模、模拟和项目管理的软件解决方案。其产品桥梁、铁路设计等专业领域表现出色。达索则以其 3DEXPERIENCE 平台为核心，提供全面的工业软件解决方案，服务于航空、汽车、机械等多个行业。尽管在建筑行业的市场份额不如欧特克，但达索的产品具备强大的技术支持能力，拥有强大的竞争力。

综上所述，欧特克、天宝、奔特力和达索在建筑行业软件市场中各自拥有独特的优势和市场定位。欧特克以其广泛的产品线和技术创新保持市场领导地位，奔特力和达索则在特定领域和工业软件方面展现出专业优势，而天宝则通过其在软硬件相结合的解决方案，实现市场占比的显著提升。这些公司的市场表现对整个建筑行业的数字化转型和技术创新具有重要影响。

### 国内软件厂商市场占比分析

国内厂商占比分布如下：

广联达：60 项（23.62%）；

品茗：23 项（9.06%）；

鲁班：3 项（1.18%）；

（其他厂商未计）

国内软件厂商如广联达占比数据表现也显示了其在本土市场的稳步发展，而品茗和鲁班的占比则相对较小。值得注意的是，鲁班的市场占比有所下降，可能与其在市场推广方面的策略有关。

国内软件厂商占比情况

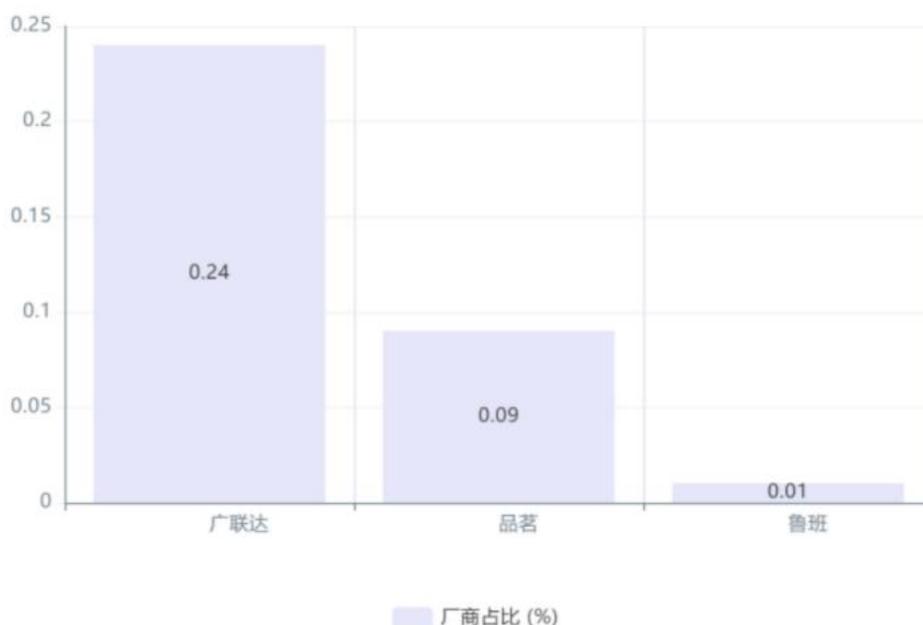


图 4 国内软件厂商应用占比情况

国内软件厂商如广联达占比数据表现也显示了其在本土市场的稳步发展，而品茗和鲁班的占比则相对较小。值得注意的是，鲁班的市场占比有所下降，可能与其在市场推广方面的策略有关。

广联达作为国内建筑信息化的领军企业，占比达到 23.62%，这一成绩的取得得益于其在建筑行业的深度耕耘和技术创新。广联达通过提供全面的建筑信息化解决方案，包括数字造价、数字施工、数字设计等，满足了工程建设领域企业客户的多元化需求。在造价业务上实现了云转型，推动了业务的快速增长，同时

在数字施工业务上，通过一体化解决方案提升了客户的经营效率。此外，广联达还积极拓展数字设计软件市场，通过自主研发的图形平台，推出了具有自主知识产权的设计产品，进一步巩固了其在市场中的领导地位。

品茗在建筑信息化软件领域占有一席之地，市场占比为 9.06%。品茗专注于为建筑行业提供专业的信息化产品和服务。在施工和项目管理等领域也有所布局，通过提供专业的计价软件和智慧工地整体解决方案，提高了施工行业的数字化水平。鲁班的市场占比下降至 1.18%，可能的原因包括市场推广策略等多方面因素。

## 2.3 参赛项目技术应用占比分析

### 建筑技术应用场景分布

参赛项目中，各类建筑技术的应用占比如下（允许多选）：

- MVD (Model View Definition) : 116 项 (45.67%) ;
- BCF (BIM Collaboration Format) : 90 项 (35.43%) ;
- BEP (BIM Execution Plan) : 83 项 (32.68%) ;
- IFC (Industry Foundation Classes) : 17 项 (6.69%) ;
- CDE (Common Data Environment) : 42 项 (16.54%) ;
- 数字孪生 (Digital Twin) : 16 项 (6.30%) ;
- openBIM: 7 项 (2.76%) 。

技术应用占比分布图

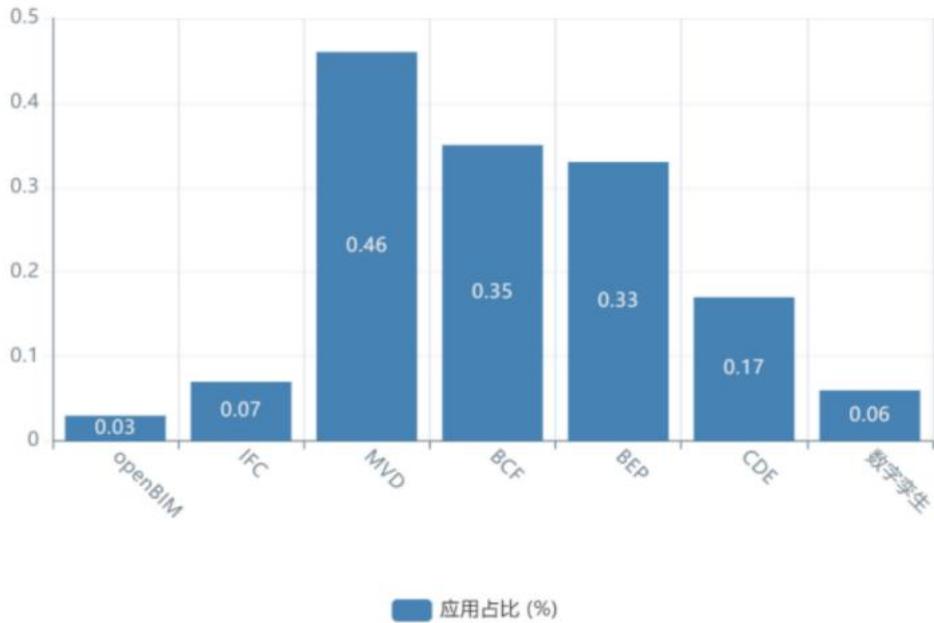


图 5 技术应用占比分布

MVD 作为模型视图定义标准，应用覆盖率最高；openBIM 与数字孪生技术尚处探索阶段，需加强场景适配与行业推广。此外，6 个项目应用机器人技术，6 个项目聚焦运维阶段，表明新兴技术探索逐步深化。

## 2.4 参赛项目各省得分占比分析

图表显示了各省的总得分分布情况。通过观察图表，可以直观地看到各省市在总得分上的差异。

各省总得分占比分布

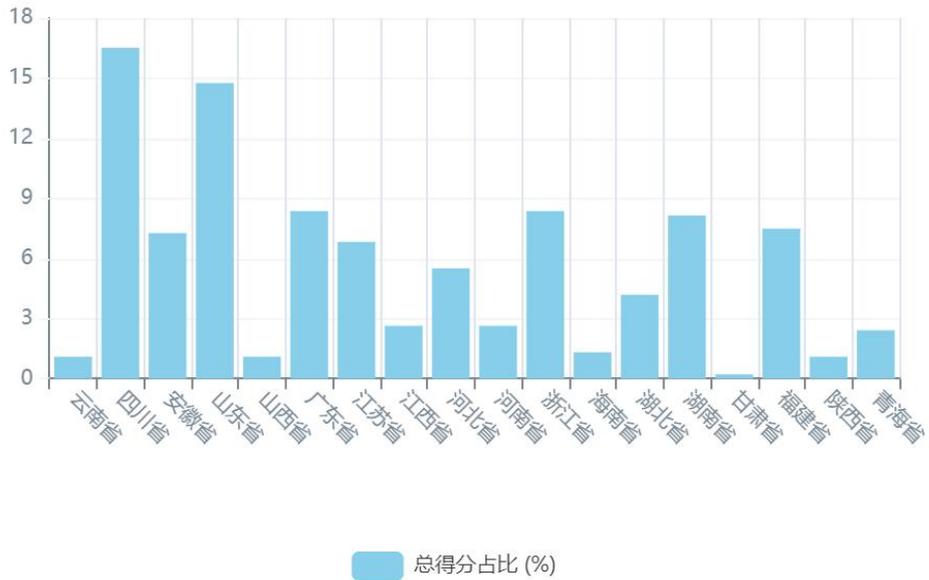


图 6 各省得分占比分布

总得分占比：四川省的总得分占比最高，表明该省的项目整体技术水平较高，得分较多。其他如山东省、安徽省等省份也有较高的总得分占比。四川省的项目数量最多，这与其总得分较高相一致。

各省平均得分分布

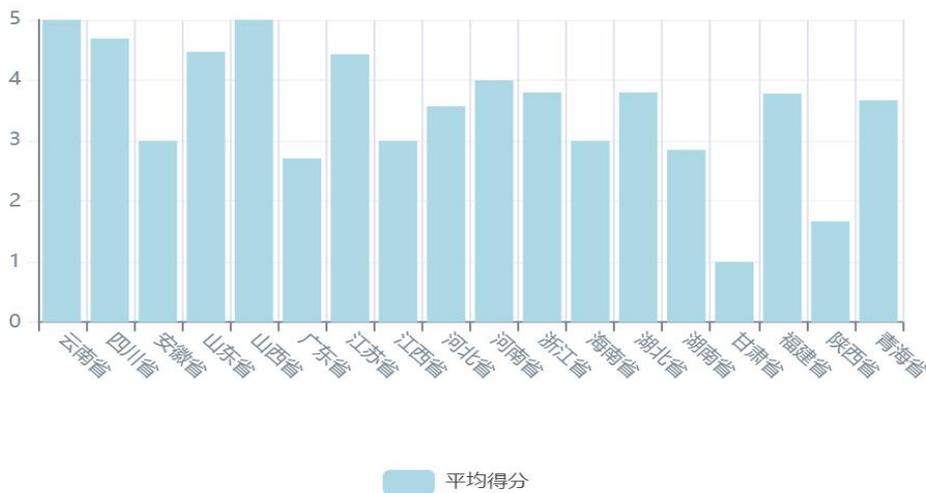


图 7 各省平均得分分布

平均得分：一些省份如云南省和山西省虽然项目数量较少，但平均得分较高，说明这些省份的项目质量较高，技术点使用较多。

上海、北京、天津、深圳、重庆的总得分分布

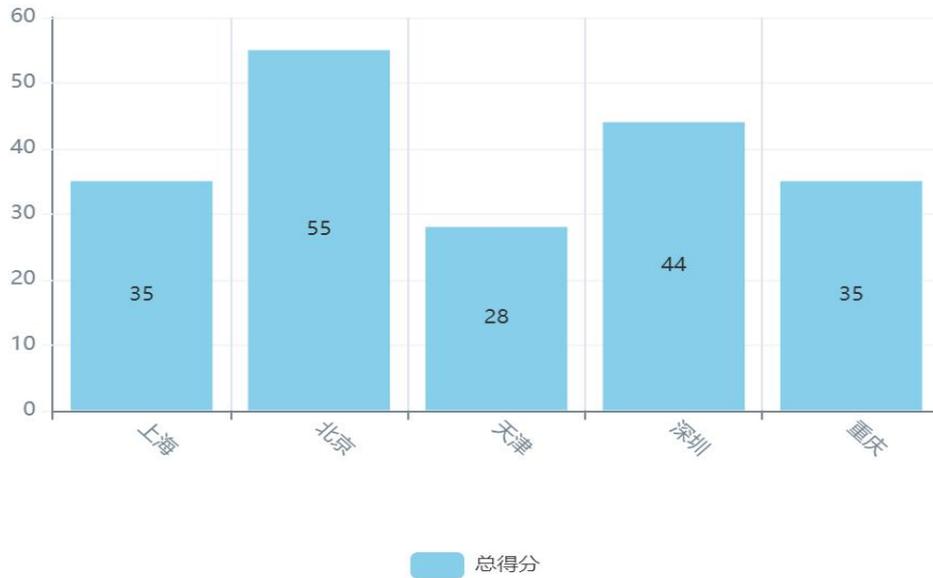


图 8 上海、北京、天津、深圳、重庆总得分

上海、北京、天津、深圳、重庆的平均得分分布

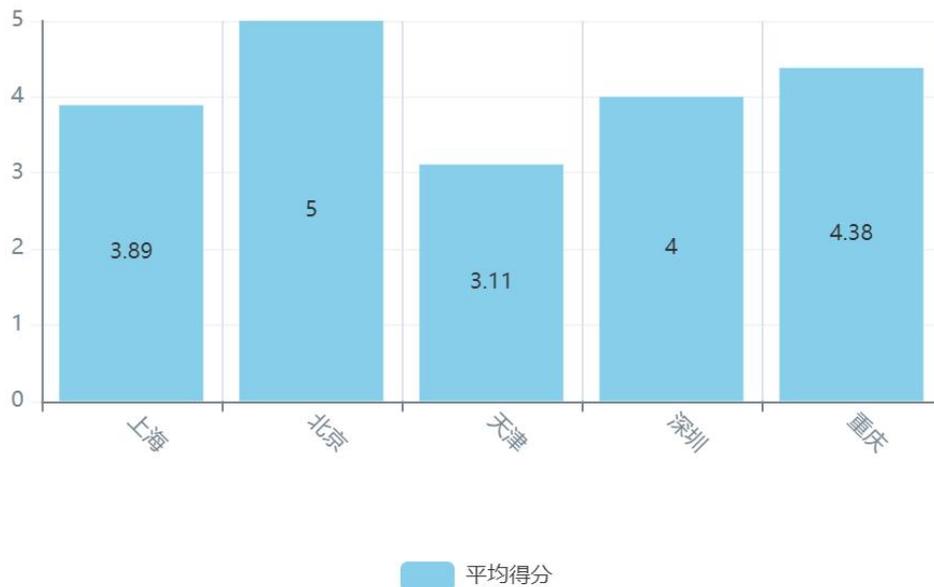


图 9 上海、北京、天津、深圳、重庆平均得分

北京的项目数量最多，共有 11 个项目，平均得分为 5 分，表现较为突出。

深圳也有 11 个项目，平均得分为 4 分，略低于北京。

重庆虽然只有 8 个项目，但平均得分达到了 4.38 分，表现相对较好。

上海和天津的项目数量相同，均为 9 个，但上海的平均得分（3.89 分）略高于天津（3.11 分）。

从整体来看，北京和深圳的项目得分较高，而天津的项目平均得分相对较低。

## 2.5 趋势总结

当前建筑行业软件市场呈现以下特征：

- 国际厂商技术领先：欧特克、天宝等凭借成熟产品优势占据主导；
- 国内厂商追赶加速：广联达、品茗通过垂直领域深耕提升市场份额；
- 行业自研平台崛起：北京院“聆波平台”、同济院“运维平台”等体现本土创新能力。

未来，随着数字化转型深化，技术融合（如 BIM+数字孪生）与细分场景解决方案将成为竞争焦点，推动行业向高效化、智能化持续演进。

## 三、技术与应用

本章节深入探讨当前建筑信息模型（BIM）技术的四个主要领域：传统 BIM 建模与 BEP、CDE 平台、OpenBIM 以及数字孪生，并分析它们如何协同推动建筑行业的数字化转型。通过剖析这些领域的相互关联和协同效应，本章节展示了它们在提升数据互操作性、促进团队协作和实现全生命周期管理方面的关键角色。通过对每项技术的概述、应用价值、当前应用现状以及未来发展方向的详细阐述，为读者提供全面的理解框架。这些分析不仅为行业从业者提供了实践参考，也为

政策制定者提供了技术发展的前瞻性洞察，从而更好地支持建筑行业的数字化转型。

### 3.1 传统 BIM 建模与 BEP

#### 技术概述

近年来，建筑信息建模（Building Information Modeling, BIM）技术已经成为推动建筑行业数字化转型的核心工具之一。在建筑设计、施工和运营的全生命周期中，BIM 技术通过多维信息集成和动态数据管理，为建筑项目的全流程决策提供了科学依据。作为 BIM 技术的基础，传统 BIM 建模和 BEP（BIM Execution Plan, BIM 执行计划）在实现信息共享和协同工作方面发挥了重要作用。

传统 BIM 建模是指利用建筑信息建模（Building Information Modeling, BIM）技术，通过专业化的软件工具（如 Autodesk Revit、Graphisoft Archicad 等）创建包含建筑几何特性、物理特性及功能信息的三维数字化模型。这些模型不仅直观地展示建筑的空间布局和结构特性，还集合了诸如材料特性、成本分析、施工进度计划以及维护需求等多维度信息，从而实现建筑全生命周期内的精确数据支持。

BEP（BIM Execution Plan, BIM 执行计划）作为一种标准化的管理框架，旨在规范和指导项目中 BIM 技术的实施策略及协作流程。BEP 涵盖了项目目标、角色分工、建模细节、信息交换格式及数据交付时间表等内容，确保跨学科、跨团队的协同工作高效有序。通过 BEP 的执行，项目团队能够在复杂建筑项目中实现一致性的信息传递、减少误解与返工风险，并提升整体工作效率。

传统 BIM 建模与 BEP 之间是技术支撑与管理策略的关系。BIM 建模提供了基础的三维数字模型和信息载体，为设计、分析和协作提供了核心支持。而 BEP

作为管理层面的策略框架，确保这些数据能够被高效创建、组织和共享。具体而言，BIM 建模的过程需要严格遵循 BEP 的指导。例如，BEP 会明确模型的细节水平（Level of Detail, LOD）、数据交换的格式（如 IFC 或其他开放标准）及模型的更新与审核流程。这种管理与技术的结合确保了模型的可用性、准确性和一致性。同时，BEP 的实施还需要依赖建模工具的功能来自动生成报告、协调冲突以及模拟施工流程。此外，BEP 通过角色分工与任务分配的明确划分，使不同学科的专业团队能够在同一平台上协作完成建模任务，从而最大化地发挥 BIM 技术的潜力。这种关系体现了技术与管理相辅相成的特点：BIM 建模提供技术实现的可能，而 BEP 则通过规范与流程优化提升整体项目的管理效率。

### 应用价值

BIM 建模的核心价值在于其对设计与施工、协作、生命周期管理、可视化演示以及成本优化的全方位支持。例如，在设计与施工阶段，BIM 模型能够通过动态信息整合，优化设计方案并减少施工冲突。在生命周期管理中，BIM 技术通过记录建筑构件的详细信息，为运营和维护提供长期支持。一个实际案例是某大型商业综合体项目，通过 BIM 技术在早期检测和解决了 20 多处设计冲突，大幅降低了后期施工的返工率。此外，在成本优化方面，BIM 模型通过集成施工计划与资源分配，帮助项目团队实现了 10% 的预算节省。首先，通过信息化手段实现精确的几何和功能建模，BIM 建模显著减少了设计与施工阶段的冲突与错误。例如，在早期设计阶段，BIM 模型能够检测潜在的空间冲突；在施工阶段，模型的高精度特性有效降低施工误差，从而大幅减少返工率和施工延误的可能性。

通过统一的信息共享平台，BIM 建模能够实现多学科团队之间的高效协作。设计团队、施工团队和运营团队均可实时访问并更新共享的模型数据，这有效避免了信息孤岛问题，确保数据的一致性与时效性。从具体工具来看，平台通常依

赖于如 Autodesk ACC、Trimble Connect 等 CDE (Common Data Environment) 解决方案, 这些工具为不同团队提供了集中化的数据管理和实时协作环境。例如, 设计团队可以在 ACC 中上传模型文件, 施工团队实时获取更新后的数据并标注施工问题, 而运营团队则可以通过集成的运维功能记录设备运行状态。这些功能显著提高了协作效率和项目整体协调性, 为复杂项目的顺利实施奠定了坚实基础。

此外, BIM 技术贯穿建筑全生命周期, 从设计、施工到运营与维护, 均能提供详尽的数据支持。在设计阶段, BIM 模型提供了精准的几何和功能信息, 作为设计优化的重要依据; 在施工阶段, 模型被用于施工进度管理和质量控制, 显著减少施工偏差和返工; 在运营阶段, BIM 模型则为维护团队提供精确的设备位置和性能参数, 确保维护工作的高效性和精准性。

与此同时, BIM 技术凭借其可视化功能, 极大提升了项目利益相关者对设计意图的理解。三维模型和动态模拟不仅使设计方案更具直观性, 还为决策者提供了评估设计可行性和美学效果的科学工具, 从而优化决策过程, 增强项目透明度。通过集成化的成本管理模块, BIM 技术将动态施工计划与资源配置相结合, 实现精确的经济性评估。例如, 利用 BIM 模型的成本估算功能, 可以快速识别和调整超预算项, 为项目成本控制提供可靠的科学依据, 同时优化资源分配和工程进度, 提高项目整体效率与经济效益。

### 当前应用现状

#### 实际成效:

BIM 技术在建筑设计、施工协调和运维管理中的应用日益广泛。在设计阶段, BIM 模型能够为建筑方案提供详实的几何和功能信息, 显著提高设计精度, 减少设计冲突与返工情况。在施工协调中, BIM 模型通过动态信息的实时更新, 使施工团队能够高效地应对复杂几何形状和信息管理任务, 例如施工流程优化和冲突

检测，从而降低项目实施风险。在运维管理中，BIM 模型为维护团队提供了设备位置、性能参数以及历史记录等精确数据，帮助团队更高效地规划和执行维护任务。这些功能的综合应用极大地提升了项目的整体效率与质量，同时优化了资源分配，降低了总体成本。

### 问题：

团队间标准不统一是当前 BIM 应用中的一大问题。不同团队在建模工具、数据格式和协作流程上的差异，常导致信息传递不畅，进而影响项目的整体效率。例如，一些团队可能使用不同版本的 BIM 软件，导致模型的兼容性问题，从而增加了数据转换和校验的工作量。此外，协作的分散化管理容易产生信息孤岛现象，进一步削弱了 BIM 技术的协同效能。BEP 在实施中的执行力度和一致性也存在不足。虽然 BEP 作为管理框架，明确了建模要求和协作规范，但在实际项目中，部分团队对 BEP 的重要性认识不足，导致执行流于形式，未能完全发挥其规范作用。同时，由于缺乏有效的监督机制，BEP 在项目推进过程中可能被忽视或随意调整，降低了 BIM 应用的整体效益。

复杂项目中建模与管理的成本较高。对于大型复杂项目，BIM 建模需要投入大量的人力、时间和资金。具体而言，模型的创建和管理过程往往涉及多学科的协作以及高精度的建模要求，而这使得开发成本显著增加。此外，由于需要满足不同阶段的建模细化（Level of Detail, LOD）要求，这进一步加剧了资源的消耗。

学习曲线陡峭，人才储备不足。BIM 技术的专业性和复杂性决定了其对从业人员的技术水平要求较高。学习 BIM 软件、理解行业标准以及掌握协作流程需要较长时间，而当前市场中具备这些能力的专业人才供给远远不足。这种人才短缺问题在中小型企业中尤为突出。

软件和硬件需求较高，对中小型项目不够友好。BIM 软件通常需要高性能的计算设备来处理大规模数据和复杂的模型，这使得企业在硬件和软件采购上面临较大的经济压力。此外，许多中小型项目由于预算限制和技术基础薄弱，很难承担 BIM 实施所需的全部投入，这使得 BIM 技术在这类项目中的推广和应用受到限制。

### 未来发展方向

开发更易用的建模工具以降低技术门槛，是当前 BIM 技术发展的重点方向之一。这不仅要求 BIM 软件提供更直观的用户界面，还需要减少用户对复杂操作和深度专业知识的依赖。通过引入模板化功能和自动化建模工具，可以显著缩短学习曲线，使更多建筑企业和从业者能够快速掌握并应用 BIM 技术。

强化 BEP 标准化以提升跨团队协作效率尤为关键。标准化的 BEP 可以确保不同学科和团队在同一框架下工作，减少信息传递过程中的误解和数据丢失。通过明确细节水平（LOD）、信息交付标准和模型更新流程，标准化的 BEP 可以有效提升多团队协作的效率和质量。

融合 AI 技术，实现智能化建模与分析，是 BIM 技术发展的前沿方向。AI 技术可以帮助用户自动检测模型中的冲突、预测施工进度问题并优化资源分配。例如，基于机器学习的算法可以根据历史数据提出设计优化建议，从而提升建模效率并减少人为错误。

推动 BIM 技术与增强现实（AR）和虚拟现实（VR）技术的结合，将为用户体验带来革命性提升。通过将三维模型与 AR 和 VR 技术集成，用户可以在虚拟环境中直观地查看建筑设计方案，进行动态演示和交互式调整。这种技术融合不仅提升了利益相关者对设计的理解，还为施工现场的指导和培训提供了强大的支持工具。

## 3.2 CDE 平台

### 技术概述

CDE (Common Data Environment, 共享数据环境) 是一个专门设计用于集中管理和协调项目数据的平台。它能够支持数据的创建、共享、存储以及版本管理, 确保所有项目团队成员能够在统一的环境中协作并访问最新信息。常见的 CDE 平台包括 Autodesk ACC、Bentley ProjectWise 和 Trimble Connect 等, 这些平台广泛应用于建筑设计、施工管理和运营维护等领域。

CDE 平台的核心功能在于数据的集中化管理, 提供一个单一的数据信息源 (Single Source of Truth, SSOT), 确保项目团队之间的数据一致性和实时性。通过统一的数据信息源, 项目团队能够减少重复输入数据的工作量, 避免信息版本混乱的问题, 并确保每个团队成员访问到的都是最新、经过验证的数据信息。例如, 在一个大型基础设施项目中, CDE 平台可以确保设计团队实时更新建筑模型, 而施工团队能够基于最新版本进行规划和操作, 从而减少了信息错误和重复工作。通过自动化流程和权限管理, CDE 平台不仅有效减少人为错误, 还通过任务分配和进度跟踪功能提升了协作效率。与此同时, CDE 平台还支持多种数据格式的兼容与集成, 便于不同软件间的无缝衔接, 例如将设计数据从 Revit 导入施工管理工具中。如此, CDE 平台成为现代建筑项目管理中不可或缺的工具, 特别是在处理复杂多方协作的大型项目时, 其作用尤为显著。此外, 基于 SSOT 的管理模式还增强了项目透明性, 确保所有参与方在决策时使用相同的数据基础, 从而大幅提升了整体项目效率和质量。

根据 ISO 19650 (建筑和土木工程信息管理——使用 BIM 的组织和数字环境信息管理) 的定义, CDE 被视为实现项目协作和信息管理的核心工具。ISO 19650 明确指出, CDE 平台需要满足信息管理的关键需求, 包括信息的分类、状态管理

和责任分配。这一标准强调 CDE 必须支持受控的数据共享模式，确保所有项目参与方能够访问到最新且经过验证的信息，从而减少因信息滞后或错误导致的返工和资源浪费。

此外，ISO 19650 还对 CDE 平台的权限管理和审计功能提出具体要求。例如，平台必须确保数据安全性，通过分级权限机制控制不同用户对敏感信息的访问，同时保留详细的日志记录以实现信息的可追溯性。通过这些功能，CDE 平台不仅能优化项目的协作效率，还能显著提升数据管理的透明度和规范性，为复杂项目提供可靠的技术支撑。

### 应用价值

通过提供数据的集中管理与访问，CDE 平台显著提升了数据的透明度和可追溯性。项目团队可以在一个共享的环境中访问所有相关数据，确保每位团队成员能够获取最新信息，从而有效减少信息传递中的错误和延迟。

支持实时协作是 CDE 平台的一大核心优势。借助该平台，无论项目团队成员身处何地，都能同步查看和更新项目数据。这种实时协作模式有效减少了传统工作模式中常见的信息孤岛问题，促进了多团队之间的无缝合作。

CDE 平台还具备了强大的数据安全性和版本控制功能。在共享环境中，数据的访问权限可以根据用户角色进行精确设定，确保敏感信息的安全性。同时，平台能够自动记录数据的历史版本，确保在需要时可以追溯或恢复先前的工作内容。

此外，CDE 平台为跨部门和跨组织的协作提供了强有力的支持。通过集中化的数据管理，不同部门和组织之间的信息共享变得更加高效，从而提升了整个项目的执行效率。例如，在复杂建筑项目中，设计团队、施工团队和运营团队能够在同一平台上共享并协作完成工作任务。

CDE 平台大幅减少了文档丢失和信息遗漏的风险。所有数据和文档都存储在集中化的环境中,并通过自动备份和日志管理功能,确保数据的完整性和可用性。这种高可靠性的数据管理方式为项目的顺利实施提供了重要保障。

### 当前应用现状

#### 实际成效:

在当今建筑行业,BIM 技术已被大中型建筑项目广泛采用,其优势在信息管理和协作效率方面尤为突出。在复杂项目中,BIM 通过集中管理和共享数据,显著提升了信息管理效率。各团队能够实时访问和操作最新版本的项目数据,有效避免了信息不一致和延迟问题。此外,BIM 支持多方同时访问,使得设计、施工和运营团队能够在同一平台上无缝协作,减少了沟通误差,优化了工作流程,最终提升了项目的整体效率和质量。

#### 问题:

中小型企业采用 BIM 技术时,面临较大的成本压力,导致其普及率相对较低。具体而言,BIM 软件的高昂许可费用,以及硬件设施的升级需求,使许多中小型企业难以承担。此外,实施 BIM 还需要专业技术人才和系统化培训,这进一步增加了企业的经济负担。同时,数据存储和传输的安全性问题依然是 BIM 技术推广中的重要挑战。随着项目规模的增加和信息共享的复杂化,数据的集中管理和远程传输可能面临潜在的安全威胁,如数据泄露和未经授权的访问。为此,需要通过更先进的加密技术和权限管理方案来强化数据安全性,保障企业对 BIM 技术的信任度。

CDE 平台在支持数据标准化方面面临诸多挑战。尽管平台旨在集中管理和共享数据,但行业内缺乏统一的技术标准和数据格式使得 CDE 平台的普适性受到限制。例如,现有项目中不同团队可能使用不同的工具和标准,这导致在数据上传

或交换时需进行额外的格式转换和兼容性调整。这不仅增加了操作复杂性，还可能造成数据丢失、格式错误等问题，从而影响项目的整体协作效率。此外，部分平台对开放数据标准（如 IFC）的支持不够完善，限制了跨平台的数据互操作性。这种局限性对大型、多方协作的建筑项目尤为显著，因为项目参与者往往使用不同的软件和工作流，需要更高的互联互通能力。为解决这一问题，CDE 平台需要进一步加强对国际标准的支持，并推动行业标准的统一化发展，从而实现真正的无缝数据交换和协作。

CDE 平台对互联网连接的高度依赖使其在网络环境较差的情况下难以高效运行。尤其是在远程施工现场或偏远地区，网络的不稳定性可能导致数据上传和同步的延迟，影响团队的实时协作能力。为解决这些问题，需要进一步优化平台的离线功能，并通过分布式存储技术降低对实时网络的依赖。

### **未来发展方向**

推动 CDE 平台开放接口的标准化是当前行业数字化转型中的重要方向。ISO 19650 标准强调了数据接口在 CDE 平台中的核心作用，特别是在实现跨平台协作与信息互通方面。通过建立统一的接口标准，CDE 平台能够确保不同系统之间的无缝数据交换，例如支持 IFC（Industry Foundation Classes）等国际通用格式。这不仅简化了数据的传输和集成流程，还减少了由于格式不兼容导致的技术障碍。这种标准化的努力在复杂的多方协作项目中尤为关键。因为各参与方通常使用不同的软件工具和 CDE 平台，统一的接口标准能够显著提高数据交互的效率，避免信息孤岛问题，同时增强项目协作的整体能力。未来，推动 CDE 接口标准化的发展将成为实现建筑项目信息化管理的基础，为行业创造更高的效率和互操作性。

优化中小企业友好的定价策略和功能模块对于促进 CDE 平台的普及至关重要。高昂的使用成本一直是阻碍中小企业采用 CDE 平台的主要因素。因此，推出灵活的订阅模式和模块化的功能选择，将帮助中小企业以更低的成本享受平台的核心功能，进一步推动行业的数字化转型。

结合云计算和边缘计算技术可以显著提升 CDE 平台的数据处理效率。云计算能够提供大规模数据存储和高速计算能力，而边缘计算则允许数据在本地处理，从而减少延迟并提高实时性。这种结合不仅提高了平台的响应速度，还增强了其在低网络环境中的适用性。

开发更智能的搜索和分析工具是 CDE 平台未来发展的重点之一。面对海量数据，传统的搜索方法已无法满足用户的需求。通过引入基于人工智能的语义搜索和智能分析功能，平台可以更高效地处理复杂查询，帮助用户快速定位所需信息，并提供基于数据的深度洞察以支持科学决策。

### 3.3 OpenBIM

#### 技术概述

OpenBIM 是一种基于开放标准的建筑信息模型（BIM）协作模式，其发展始于建筑行业对数据互操作性和信息共享需求的不断增加。早期的 BIM 技术多依赖于专有软件，导致数据在不同平台之间的兼容性欠佳，形成了所谓的信息孤岛。为解决这一问题，国际组织 buildingSMART 引入了 OpenBIM 理念，通过制定开放标准，实现跨平台的无缝数据交换和协作。

OpenBIM 的核心发展目标是推动建筑行业的数字化和智能化转型，同时确保数据的独立性和可持续性。通过消除技术锁定的风险，OpenBIM 为不同规模的项目和企业提供了更加公平和高效的协作环境。具体而言，OpenBIM 旨在通过标准

化的数据格式和接口，提升数据的兼容性和透明度，促进跨学科、跨区域的协同工作。

在技术内涵方面，OpenBIM 依赖于一系列关键国际标准，包括 IFC (Industry Foundation Classes)、BCF (BIM Collaboration Format)、bSDD (buildingSMART Data Dictionary)、IDM (Information Delivery Manual)、MVD (Model View Definition) 以及 IDS (Information Delivery Specification)。这些标准各有分工，相互协作，共同构建了一个完整的生态系统。其中，IFC 作为核心标准，为建筑模型的数据交换提供了统一的格式和结构；BCF 专注于问题管理和协作；bSDD 提供了标准化的术语和语义支持；IDM 和 MVD 规范了信息交付的流程和视图；而 IDS 则精细化了信息需求的定义与验证规则。通过这些标准的全面应用，OpenBIM 能够实现数据的互操作性、项目的透明管理以及长期信息的可追溯性，为建筑项目的全生命周期管理提供了坚实的技术基础。

通过这些标准的全面应用，OpenBIM 能够实现数据的互操作性、项目的透明管理以及长期信息的可追溯性，为建筑项目的全生命周期管理提供了坚实的技术基础。例如，在某大型交通枢纽建设项目中，通过采用 IFC 标准，设计团队和施工团队能够无缝共享建筑模型数据，实现了设计优化和施工进度的精确协调；同时，运营阶段利用 bSDD 和 IDS 标准，为设施维护团队提供了精确的设备运行数据和维护计划。这些成功案例充分展示了 OpenBIM 技术在复杂项目中的应用潜力，为建筑行业的数字化转型提供了强有力的支持。

IFC (Industry Foundation Classes) 是 OpenBIM 的核心基础标准，专为建筑和设施的数字模型表示和数据交换设计。IFC 由国际组织 buildingSMART 开发，其目标是通过标准化的数据格式实现不同软件工具之间的互操作性，从而促进建筑行业的数据共享和协作。IFC 的技术框架采用中立、开放的设计，支持几何信

息和非几何信息的全面集成。这包括建筑构件的形状、尺寸、位置以及物理性能、材质属性等。同时，IFC 还涵盖了施工进度、成本估算和运营维护等多维数据，形成了一个全面的建筑信息模型。该标准通过定义统一的语法和语义，确保了跨平台数据的互操作性。例如，IFC 模型能够将一套复杂的建筑设计数据从设计工具无缝导入施工管理平台，实现设计和施工团队的无缝协作。从技术实现上看，IFC 采用了面向对象的建模方法，将建筑构件和系统表示为具有多层次关系的对象集合。每个对象不仅具有几何属性，还携带详细的功能和操作信息。例如，一个“墙体”对象不仅包括其几何形状，还包含材质、耐火性能和施工要求。这种面向对象的设计使得 IFC 具有极高的可扩展性，能够适应不同规模和复杂度的项目需求。目前，IFC 已成为建筑行业中最广泛接受的开放数据标准之一，被许多政府机构和国际组织作为建筑项目的数据交付要求。例如，欧洲多个国家在公共建筑项目中强制要求使用 IFC 以确保数据的开放性和长期可用性。然而，IFC 的推广也面临挑战，如标准的复杂性和对软件支持的依赖。为进一步推动 IFC 的应用，需要更强大的技术支持和更高效的培训。

BCF (BIM Collaboration Format) 是 OpenBIM 生态系统中的轻量级开放标准，专注于协作和问题管理。与 IFC 不同，BCF 不负责传输完整的模型数据，而是通过记录特定视点、注释和问题描述，实现跨平台的协作和沟通。BCF 的核心技术理念是分离式协作。其文件包含问题的具体描述、相关的模型视点和注释，但不包括几何数据。这种设计显著减少了数据传输的负担，同时提高了协作效率。例如，设计团队可以通过 BCF 将某个冲突区域的视点和解决方案建议发送给施工团队，而无需共享整个 IFC 模型。这种灵活性使 BCF 成为多方协作中的高效工具。技术上，BCF 采用 XML 或 JSON 格式存储数据，具有高度的可读性和易于解析的特点。其文件内容包括问题的唯一标识符、创建时间、责任人以及与 IFC 模型的

关联信息。这种精细化的记录方式为复杂项目的协作和问题跟踪提供了坚实的基础。BCF 已被广泛应用于建筑设计、施工协调和运维管理中，为多学科团队提供了一种高效的问题管理工具。然而，其在标准化和普及方面仍需进一步完善，特别是在与其他 OpenBIM 标准的深度集成方面。

bSDD (buildingSMART Data Dictionary) 通过提供一个在线的标准化词典，为 OpenBIM 引入了语义一致性的支持。bSDD 的核心作用是确保不同团队在项目中对数据的解释保持一致。bSDD 基于语义网络的理念，采用了一种多语言支持的结构化数据模型。它能够存储建筑构件的术语、定义以及与标准相关的属性信息。例如，一个构件在不同地区可能使用不同的语言或术语，而 bSDD 能够通过其多语言支持功能为所有参与方提供一致的语义参考。这种功能在国际化项目中尤为重要。bSDD 还支持与 IFC 和其他 OpenBIM 标准的集成。例如，bSDD 可以为 IFC 中的对象添加语义标签，使得模型在跨平台传输时能够保留语义信息。这种语义增强功能为复杂建筑项目的数据一致性提供了技术保障。目前，bSDD 的应用范围正逐步扩大，尤其是在支持国际化和多专业协作的项目中。未来，bSDD 将进一步扩展其语义覆盖范围，为建筑行业的数字化转型提供更强大的支持。无论是在建筑设计还是运营阶段，bSDD 都能通过统一的术语和定义减少歧义。例如，不同地区可能对同一构件使用不同的语言或术语，而 bSDD 通过统一的语义结构解决了这一问题，从而增强了全球化项目的协作能力。

IDM (Information Delivery Manual) 是 OpenBIM 中用于规范信息交付的关键工具。其核心目的是通过标准化的流程指南，确保项目在不同阶段的信息交付高效且准确。IDM 定义了项目各阶段需要交付的信息内容、交付方式以及责任分配。例如，在设计阶段，IDM 可能要求交付详细的几何信息和初步的成本估算；而在施工阶段，则更加关注进度计划和资源需求。这种明确的信息需求定义，使

得项目团队能够有条不紊地完成每个阶段的工作。技术上，IDM 通过流程图和活动模型描述信息交付的逻辑和顺序。这种可视化的表达方式不仅便于项目管理者理解和实施，还能够通过软件工具实现自动化。例如，许多 BIM 软件已集成了 IDM 的核心逻辑，能够自动生成符合 IDM 要求的交付文档。IDM 的实施为复杂项目的管理提供了强有力的支持，特别是在跨学科和跨部门协作中。然而，其成功实施需要结合其他 OpenBIM 标准，如 IFC 和 bSDD，以确保信息交付的完整性和一致性。

MVD (Model View Definition) 作为 IFC 模型的子集规范，提供了针对特定需求的数据过滤和提取规则。通过 MVD，用户可以从复杂的 IFC 模型中生成针对特定任务的简化视图。MVD 的核心技术在于其规则定义机制。用户可以通过 MVD 规则指定所需的数据类型、属性范围和关联关系。例如，在设计检查中，MVD 可以提取几何形状和材料信息，而在施工协调中，则可以提取时间计划和构件详细信息。这种定制化的功能使得 MVD 成为满足多样化需求的重要工具。例如，在能源分析中，MVD 能够生成仅包含能源相关数据的模型，从而大大提升分析效率。然而，MVD 的复杂性和标准的多样性对其实施提出了挑战。未来，需要进一步简化其定义流程并提高灵活度以降低应用成本。

IDS (Information Delivery Specification) 进一步提升了信息交付的精细化水平，是 OpenBIM 生态系统中一项重要的技术标准。它允许用户基于具体项目需求定义详细的信息需求，并结合其他标准（如 IFC 和 MVD）的功能，为建筑信息交付和验证提供了强大的支持。IDS 的核心在于信息需求的明确定义和交付验证。用户可以通过 IDS 规范化模型中的具体属性、几何信息和关联规则。例如，对于防火分区的几何信息，IDS 可以规定其数据结构、具体字段及其值域范围，同时要求提交的模型符合特定的行业规范。这样的精细化定义确保了项目团队能

能够在每个阶段获取所需的精确数据，减少由于信息不完整或错误导致的工作延误和资源浪费。IDS 还与 IFC 和 MVD 标准紧密结合。通过与 IFC 的集成，IDS 能够直接作用于模型对象，定义具体的属性需求，如构件的材料类型、安装位置和维护要求。与 MVD 的结合则使 IDS 能够生成针对特定任务或用例的定制化视图，并在视图中验证信息是否满足要求。例如，在设计阶段，IDS 可以用于确保模型包含完整的结构细节，而在施工阶段则聚焦于进度计划和资源分配的验证。在实际应用中，IDS 可以通过自动化工具实现信息的定义与验证。例如，许多现代 BIM 软件已经开始支持基于 IDS 的自动化信息检查功能。这种功能允许用户快速验证模型数据是否满足项目要求，减少人工检查的工作量，同时提升数据交付的效率和可靠性。IDS 的应用还对项目管理产生了深远影响。通过明确的交付规范，IDS 使项目团队能够更好地协同工作，避免因信息交付不当导致的误解和冲突。此外，IDS 的标准化流程还为跨团队和跨平台的协作提供了保障，使得复杂建筑项目的管理更加高效。未来，IDS 的进一步发展将集中在提高用户的操作便利性和标准的普适性上。例如，开发更直观的用户界面和增强的自动化验证工具将有助于降低实施成本，同时促进 IDS 在中小型企业和国际化项目中的广泛应用。

这些标准之间的协同作用构成了 OpenBIM 生态系统的技术基础。IFC 为数据交换提供了通用基础，BCF 和 bSDD 通过增强协作和语义一致性，提升了数据的利用价值，而 IDM、MVD 和 IDS 则通过规范和精细化信息交付，使复杂项目的管理更加高效。通过这些标准的全面应用，OpenBIM 能够支持多样化的项目需求，促进跨平台协作，降低技术锁定风险，并为长期数据存储和再利用提供坚实保障。

### 应用价值

提升数据的互操作性是 OpenBIM 技术的核心目标之一，通过开放标准如 IFC (Industry Foundation Classes) 实现跨平台的数据交换和协作，显著减少了

对特定软件的依赖和由此产生的数据孤岛问题。不同平台的互联互通使得信息能够在多方之间流畅共享，为复杂建筑项目的顺利实施奠定了基础。

支持多方协作和长期数据存储是 OpenBIM 的另一大优势。通过标准化的数据结构和兼容性，OpenBIM 能够确保参与方无论采用何种软件工具，都能共同访问和操作统一的模型数据。同时，标准化的方式也为数据的长期存储提供了保障，确保项目在多年后仍可高效复用信息。

OpenBIM 通过开放性和灵活性，降低了 BIM 项目的技术锁定风险。传统的专有格式可能会限制用户选择，而 OpenBIM 允许用户在不同平台和软件之间自由切换，不受单一厂商技术的限制，从而提升了技术投资的可持续性。

通过标准化和透明化，OpenBIM 显著提高了项目透明度并减少信息损失。在整个项目生命周期中，所有相关方都可以通过统一的模型访问准确且最新的信息，这不仅提升了决策效率，还减少了因信息不一致或遗漏造成的返工和资源浪费。

此外，OpenBIM 支持跨国和跨领域的协作，符合国际标准。其统一的语义和数据结构适应全球化的项目需求，能够在跨区域团队和多专业协作中发挥重要作用。这种标准化的特性使其成为现代建筑行业中推动全球协作和效率提升的重要工具。

### 当前应用现状

#### 实际成效：

OpenBIM 技术在政府和大型基础设施项目中得到了广泛应用和推广，成为推动建筑行业数字化发展的重要工具。在许多国家和国际组织中，OpenBIM 已逐步成为建筑项目的规范要求，这主要得益于其开放性和标准化特性。这些特性使得政府机构和基础设施项目能够以更高效的方式实现数据共享和协作，从而提升项目的透明度和管理水平。

在实际应用中，OpenBIM 通过支持 IFC 等开放标准，确保了跨平台数据的无缝互操作性。这种能力显著增强了项目团队间的数据共享效率。设计团队、施工团队以及运营团队能够在统一的语义和数据结构下工作，无需担心因数据格式不兼容而导致的信息孤岛问题。此外，OpenBIM 的标准化语义还为项目的长周期管理提供了坚实基础，使得设施运营和维护团队能够方便地获取和利用前期积累的数据信息，从而延长项目的使用寿命并降低全生命周期成本。

### 问题：

OpenBIM 的标准体系较为复杂，其学习和应用的门槛较高，尤其是对行业中缺乏相关技术背景的从业者而言。由于开放标准如 IFC、BCF 等涉及的数据结构和技术规则较为精细，使用者需要对其核心概念、数据模型及应用场景有深入理解。此外，部分软件对这些开放标准的支持还不够完善，导致在实际操作中可能出现功能缺失或兼容性问题。这些不足在一定程度上限制了标准的普及，尤其是在中小型项目或资源有限的企业中，更难以全面落实这些标准的要求。

行业对开放标准的接受度和技术支持尚需进一步提升。尽管开放标准如 IFC 和 BCF 等已经被广泛认可，但在实际应用中，部分行业从业者和企业对这些标准的理解和接受程度仍然有限。这主要体现在标准的复杂性和技术规则的高要求上，使得实施和推广过程面临障碍。此外，许多软件开发商对开放标准的全面支持尚不充分，这导致不同工具之间的互操作性受限，增加了数据整合的难度。

同时，开放标准的实施成本对中小企业构成了显著挑战。这些企业通常面临资源有限的问题，无法投入足够的资金和人力来满足标准化的要求。例如，在小型项目中，企业可能难以承担引入高性能计算设备、专业技术培训以及复杂软件操作所需的费用，从而限制了其采用开放标准的能力。

## 未来发展方向

持续完善开放标准是推动 OpenBIM 技术发展的重要方向之一。完善的标准不仅能够提升数据的兼容性和可操作性，还能降低使用门槛，使更多从业者和企业能够轻松掌握和应用。这一过程需要行业的共同努力，逐步优化现有的开放标准结构，确保其能够满足不断变化的项目需求。

推动行业广泛采用 OpenBIM 技术的关键在于增强培训和技术支持。通过提供系统化的培训计划和技术指导，能够帮助从业者更好地理解并应用复杂的标准和工具。同时，建立有效的支持机制，例如线上技术支持平台和开放社区资源，也可以帮助企业和个人更快解决实际应用中的问题。

引入更多 AI 和自动化工具是 OpenBIM 技术发展的另一重要方向。AI 可以显著提升数据处理能力，例如自动识别模型中的错误或优化设计方案。自动化工具则能够加速建模和数据管理的过程，从而减少人工干预，提升项目效率。此外，智能分析工具还能帮助决策者从复杂的数据中提取关键洞察，为科学决策提供依据。

支持基于 OpenBIM 的创新应用是未来发展的核心目标之一。这些应用包括可持续性分析、灾害模拟和其他复杂场景的解决方案。通过 OpenBIM 标准的扩展和应用，项目团队能够更好地模拟和优化建筑设计与运行的各个环节。例如，在可持续性分析中，OpenBIM 能够整合能源消耗、碳排放等多维数据，为绿色建筑的设计和施工提供支持；在灾害模拟中，基于标准化数据的动态模型能够帮助项目团队提前预测和规避潜在风险，从而提升建筑的安全性和可靠性。

### 3.4 数字孪生

#### 技术概述

数字孪生是一种创新性的数字化技术，通过传感器、数据接口以及实时计算，将物理资产的动态特性和运行状态实时映射到虚拟模型中。这种技术不仅整合了实时数据和历史数据，还通过算法和数据分析工具提供动态、精准的系统表现。数字孪生可以实时反馈物理资产的状态、性能和运行环境，帮助用户在虚拟空间中模拟、监控、优化和预测真实系统的行为和表现。因此，数字孪生技术的核心目标包括实现实时监测、预测性维护、优化系统运行以及支持全生命周期管理。这些目标的实现依赖于动态数据的实时融合、虚拟模型的构建以及复杂系统的行为预测。例如，通过物联网（IoT）传感器收集的实时数据，数字孪生能够精准地呈现建筑设备的运行状态，并结合历史数据进行分析，以预测可能的故障和优化运行效率。此外，数字孪生技术通过高精度的可视化功能，为复杂系统的设计、管理和维护提供了强大的支持工具。

在建筑行业中，数字孪生技术通过传感器实时监控建筑设备状态，结合虚拟模型的动态更新，为优化资源分配和节能提供支持。例如，在某智能建筑项目中，数字孪生技术被用于实时监控暖通空调（HVAC）系统的运行状态，通过分析历史数据和传感器反馈，优化能源消耗并降低运营成本。在交通领域，数字孪生通过模拟和预测交通流量变化，为城市交通管理提供实时优化方案，显著减少拥堵并提升交通效率。这些行业实例展示了数字孪生技术在实现核心目标方面的具体应用和显著成效。

数字孪生这一概念最早由美国空军提出，其目的是希望通过数字化的方法进行战斗机的维护工作。在此基础上，数字孪生技术逐步推广到工业数字化以及工业互联网领域，德国西门子公司在其工业 4.0 战略中提出发展数字孪生技术的倡

议。此后，世界各国逐渐接受并开始广泛地研究和发展这项技术。目前，数字孪生（DT）没有统一的定义，因为越来越多的专业领域开始涉及该技术的应用。以航空发动机制造为例，通用电气等制造商正在使用由大约 100 个传感器构成的数字孪生系统来监测每台发动机在建造后运行的实时状况。数字孪生系统可以动态监测每个发动机的实际性能变化，从而为设计迭代提供依据。由此可见，相较于计算机辅助设计（CAD）和物联网（IoT）技术分别注重数字世界和物理世界的问题解决与应用，数字孪生存在于数字世界和物理世界之间，重点解决的是物理世界和数字世界的双向交互问题。

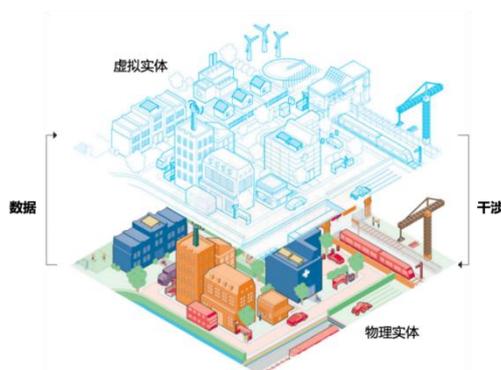


图 10 建设工程资产的数字孪生

在资产运维领域，数字孪生可定义为物理世界中工程设施或设备系统的数字化表示，包含系统的运行和各系统之间的相互作用机制。如图 10 所示，一方面，数字孪生可以使数字化虚拟设备更符合其在物理世界的实际特征，以准确反映物理设备的真实状态。另一方面，数字孪生可以基于定义好的“数字孪生体”，对虚拟设备进行一系列设计、模拟和分析，从而使物理设备智能化地调整其自身的实时行为，甚至对其未来的行为进行预测，如故障预警、成本估算、预测合理维护周期等。因此，要创建用于资产管理的数字孪生，选择适当的数据和信息模型十分重要，即定义数字孪生的载体，这涉及到计算机如何识别和表达物理实体的问题。国际上普遍采用本体论作为建设工程数据模型的方法论，它用面向对象的方法，为在计算机世界中描述实体的自身特征以及各实体间关系奠定了数据结构

的基础。除此之外，面向对象的数据模型还具有明确、标准且开放的概念表示，可以被计算机读取和理解，还能对传感器生成的大量数据进行智能化集成和分发。

### 应用价值

数字孪生技术的核心价值在于其能够实现建筑全生命周期的实时监测与优化。通过实时传感器和历史数据的集成，数字孪生能够精确地映射物理资产的状态，提供动态而精准的反馈。例如，建筑中的设备运行状况可以通过数字孪生实时监控，从而及时发现潜在问题，确保系统的高效运行。

预测性维护是数字孪生的一个重要应用领域，通过对数据的深度分析，能够提前发现设备故障风险，进而降低运营成本。例如，通过监测建筑暖通空调系统的性能数据，数字孪生可以预测设备的可能故障并建议更换或维修计划，从而避免更大的经济损失和运营中断。此外，数字孪生还为建筑管理者提供了更加精细化的决策支持。其可视化功能能够将复杂的多维数据转化为直观的信息呈现，帮助管理者快速理解系统运行的关键点，并据此优化资源配置和运营策略。

智能化运维管理是数字孪生的又一重要贡献。通过整合物联网（IoT）和人工智能（AI）技术，数字孪生能够动态调整建筑系统的运行参数，提升资产利用效率。例如，办公楼的能源管理系统可以根据实时的人员分布数据优化空调和照明的运行。在智慧城市建设中，数字孪生正在成为推动城市基础设施数字化管理的关键技术。通过城市级的数字孪生模型，可以实现交通、能源、环境等多领域的协调优化。例如，在智慧交通系统中，数字孪生能够模拟和优化交通流量，减少拥堵并提升城市运行效率。

## 当前应用现状

### 实际成效：

数字孪生技术已在高端项目和智慧城市建设中得到初步应用，展现了其在复杂环境中的强大潜力。在工业园区、机场和复杂设施中，数字孪生技术实现了部分关键功能，例如设备的实时监控、运行效率优化以及资源调度管理。这些应用为提高设施的运营效率提供了可靠支持。例如，在现代化机场中，数字孪生通过整合实时传感器数据与历史记录，不仅能对关键设备进行精准监控，还能优化航班调度和行李处理流程。在工业园区中，数字孪生被用来模拟生产线的运行状态，提前预测潜在故障并优化生产排程，从而显著提升了整体效率。这些应用的成效已通过量化指标得到验证。例如，许多项目通过数字孪生技术实现了能源消耗降低、设备故障率下降以及运营成本优化。这些成果不仅提高了设施的经济性，还为进一步推广数字孪生技术奠定了坚实基础。

### 问题：

数据采集和处理成本高一直是数字孪生技术推广中的主要障碍。复杂项目中，实时传感器的部署、数据接口的集成以及高性能计算设施的使用均需要大量的资金投入。此外，处理实时和历史数据所需的软件开发、数据清洗及算法优化等技术环节也非常复杂。这种高成本和技术要求在中小型项目中尤为突出，成为限制数字孪生技术普及的重要因素。

与此同时，数据隐私和安全性问题仍需重点解决。在数字孪生技术应用中，大量敏感数据通过传感器和网络传输，例如设备运行信息、人员活动数据和商业机密等。这些数据若未得到有效保护，可能会遭受未经授权的访问或恶意攻击，

带来严重的经济和声誉损失。因此，开发更先进的加密技术、加强权限管理和提升网络安全防护能力，成为数字孪生技术进一步发展的关键任务。

跨系统集成的难度主要体现在当前数字孪生技术标准尚未完全统一，不同系统和平台之间的数据格式、接口协议以及语义结构存在显著差异。这种碎片化的技术环境导致集成工作需要大量定制开发，增加了项目的复杂性和成本。例如，在建筑管理中，能源管理系统、安防系统和运营监控系统可能采用不同的标准和协议，迫使项目团队投入额外资源以确保这些系统能够互联互通。

另外，数字孪生技术对数据处理和存储的需求较高。实时数据的采集、传输、存储和分析需要高性能的计算设施以及先进的软件架构支持。例如，在智慧城市应用中，交通流量、能源消耗和环境监测等多维度数据需要被快速处理和整合，这对计算能力和存储架构提出了极高的要求。此外，大规模数据存储还需要可靠的安全性和可扩展性，以适应未来的增长需求。

### 未来发展方向

数字孪生技术的未来发展需要从多个角度入手，以实现更广泛的应用。首先，降低技术门槛是推动中小型项目采用数字孪生技术的关键。通过开发更直观、易用的软件工具和操作界面，中小型企业能够以较低的成本快速上手，从而弥补资源和技术能力的不足。

开发高效的数据采集与分析技术是数字孪生技术升级的重要方向。实时数据采集的精准性和数据分析的效率直接影响着数字孪生的实际应用效果。例如，通过引入先进的传感器技术和优化算法，可以更快地从庞大的数据集中提取关键信息，为实时决策提供支持。

构建统一的数字孪生标准对于提升行业互操作性至关重要。目前，不同系统和平台间的技术壁垒是数字孪生技术推广的主要挑战之一。制定统一的行业标准

能够确保数据格式和接口协议的兼容性，从而简化跨平台集成和协作，促进更高效的项目实施。

推动与物联网（IoT）和人工智能（AI）技术的深度融合是提升数字孪生智能化水平的核心路径。通过物联网设备的实时数据采集和人工智能算法的深度学习分析，数字孪生技术能够实现更加精准的预测性维护和动态优化。例如，在工业制造领域，IoT 传感器实时采集设备的运行数据，如温度、振动和压力，AI 通过深度学习分析这些数据，预测设备可能出现的故障并提供优化建议。这种融合不仅提高了设备的运行效率，还大幅降低了停机时间和维护成本。此外，在智慧城市应用中，数字孪生结合 IoT 和 AI 实现了交通流量的动态优化。通过监测实时交通数据并结合历史趋势，AI 算法能够预测交通拥堵点，并提供信号灯优化方案以缓解拥堵。与此同时，在建筑领域，数字孪生利用物联网设备实时采集建筑能耗和环境参数，AI 分析这些数据后优化暖通空调（HVAC）系统的运行策略，从而实现节能降耗。多场景实践表明，IoT 和 AI 的结合显著增强了数字孪生的应用价值和智能化水平。

实现全行业推广尤其是在中小型企业和公共服务领域的广泛应用，是数字孪生技术未来的战略目标之一。通过降低成本和提供灵活的应用方案，数字孪生技术可以为中小企业提供可持续的数字化解决方案，同时在公共服务领域，如交通管理和能源调配中发挥重要作用，推动整个社会的智能化升级。

## 四、案例分享

### 4.1 案例分享汇总

序号	案例	项目类型	项目名称	申报单位
1	最佳案例	技术类	“民生罗铁 智慧建造” BIM+智慧建造体系为罗田水库-铁岗水库输水隧洞工程建设助力	中国水利水电第十四工程局有限公司
2		科研类	山路崎岖智慧行迹：扩展 IFC 在山地齿轨系统工程建模中的应用	西华大学
3		技术类	BIM 技术在菲律宾马尼拉滨海新城项目围堰吹填施工阶段的综合应用	中交一公局集团有限公司海外分公司
4	优秀案例	技术类	淞云台绿色综合住宅施工阶段基于 BIM 的智慧建造	湖南省第二工程有限公司
5		交付类	四川名人馆建设项目	中国建筑第二工程局有限公司
6		技术类	桥影流转——利用 OpenBIM 实现钢结构桥梁的智能建造	西华大学
7		技术类	国家会议中心二期项目配套部分 B24 地块（酒店综合楼）	中国建筑第二工程局有限公司
8		技术类	浙江镜岭水库工程数字孪生系统（一期）	中建二局第三建筑工程有限公司

## 4.2 案例展示

### (1) “民生罗铁 智慧建造” BIM+智慧建造体系为罗田水库-铁岗水库输水隧洞工程建设助力

#### 1. 公司介绍

中国水利水电第十四工程局有限公司是国务院国资委直属央企（世界 500 强企业）中国电力建设集团有限公司的控股子公司，具有水利水电工程施工总承包特级、建筑工程施工总承包壹级资质、机电工程施工总承包壹级、市政公用工程施工总承包壹级、公路工程施工总承包贰级及电力工程总承包贰级等 6 个总承包资质。公司积极推动珠江三角洲水资源配置、滇中引水、环北部湾广东水资源配置等重点工程上的智慧建造运用，以引领产业技术进步为己任，全面提升创新驱动、绿色低碳、数字智慧及 BIM 技术为引领的智能建造水平和技术应用能力，为公司高质量发展贡献力量。

中电建生态环境集团有限公司是中国电力建设股份有限公司旗下专业从事生态环境治理的平台公司，属于国家高新技术企业，设有国家级博士后科研工作站、广东省博士工作站，拥有环保工程专业承包、市政公用工程总承包、水利水电工程总承包 3 项壹级资质和建筑工程总承包二级资质，水利水电、生态建设和环境工程、市政公用工程等 5 个专业工程咨询资格，是国内知名、行业领先的环保企业集团。

#### 2. 项目概况

罗田水库-铁岗水库输水隧洞工程全线位于深圳市西部宝安区和光明区境内，是珠江三角洲水资源配置工程的重要组成部分。工程类别属 I 等，工程规模为大型(1)型水利工程，相应主要建筑为 1 级。总投资 58.02 亿元，施工总承包中标金

额 42.94 亿元，合同工期 1087 天。工程设计规模 260 万  $m^3$ /日，输水干线(含阀室和竖井)长 21.68 公里、过流断面直径 5.2 米。



本工程主要建筑物包括进水口、出水口、输水干线与深圳支线连通隧洞、3 座工作井、2 座地下阀室、3 条检修交通洞、至各水厂(罗田、五指耙、长流陂)分水支线、罗田水厂提升泵站及配套管理中心。其他建设内容包括：临时供电工程、水情自动测报系统、安全监测工程、安全感知基础设施、水土保持工程、管线迁改及保护、交通疏解及环境保护工程等。输水干线(含阀室和竖井)长 21.68 公里、过流断面直径 5.2 米。为保证各工况下罗田水厂可正常供水，设 2 条分水支线，分别与进水口、罗田阀室相接，支线长度分别为 A 线总长 1272.48 米、B 线总长 1549.09 米，隧洞内径均为 3.2 米。五指耙水厂分水支线与五指耙水厂分水井连接，长 732.89 米，隧洞内径 2.0 米。长流陂水厂分水支线与长流陂阀室连接，长 1569.46 米，隧洞内径 2.8 米。与深圳支线连通隧洞长 1070.13 米，洞径 4.0 米。

### 3. 项目难点

本项目点多面广，征迁工作涉及多部门，审批手续较复杂，流程历时长。本工程工期紧，施工项目多，工程量大，施工组织及管理难度较大；工程进水口、出水口分别位于罗田水库和铁岗水库，进施工期间水库水质保障是重点；本工程

三个工作井均属深大竖井，公明检修排水井、五指耙水厂分水井、铁岗工作井开挖深度分别为 60m~78m，总体来说施工难度较大，施工风险较大，确保工作井施工的质量安全和进度是本工程的重点。涉及 TBM 形式多，4 台 TBM 选用三种形式，TBM1、TBM2 选用“TBM+EPB”双模盾构模式，TBM3 选用双护盾 TBM，TBM4 选用敞开式 TBM，管理难度大。

基于以上难点公司组建专业技术团队，以保障工程“平安、优质、生态、快速、智慧”为目标，关注过程管控重点，制定针对性措施，保障项目的顺利推进。在项目建设过程中，应用 BIM、GIS、PM、IoT、AR 等技术，打造“BIM+”技术体系，建立 BIM 模型和 GIS 模型，搭建项目建设区域 BIM+GIS 场景，实现结构模型与地理信息模型的融合，在此基础上完成碰撞检查、施工重难点工艺模拟和进度模拟等深度应用；建设数字化工地，实现施工现场的实时监管和风险预警；基于项目管理需求搭建智慧建造平台，作为业务流转、数据集成和处理载体，以 BIM+GIS 作为数字底座，集成 BIM 应用成果、项目管理数据、智慧工地物联网数据等，形成一张图辅助决策系统，直观反映现场施工状态，辅助工程管理者掌控现场施工情况和做出决策，有效提升项目管理精细度与实时性水平。

#### 4. openBIM 的典型应用

##### 4.1 全生命周期应用

基于设计交付的 CATIA 模型，将简单曲面模型(井、建筑物等)使用 inventor 转换后，形成 revit 族文件设计模型使用率 80%，通过载入项目文件中，针对施工精度高、曲面复杂程度低的单体模型进行导出，进行模型构建拆分，并添加钢构件，锚杆最后通过 dynamo 赋予构建属性，补充构建信息，进行编码匹配，完善模型属性信息。在进行模型深化过程中搭建，结合深圳市 CIM 城市建设、智慧水务及运营管理平台建设要求，本工程 BIM 模型编码包含：单位/分部/单元编码；

模型编码；位号码等，一个模型 4 套编码体系，实现全方位数据的集成，满足深圳智慧水务，智慧城市，运维平台，原水平台，实现模型多用性。在应用过程中同步完善模型管理信息，将携带设计—施工阶段信息模型移交至运营单位，用于项目运营阶段，实现 BIM 模型的全生命周期应用。



图 1 模型编码体系

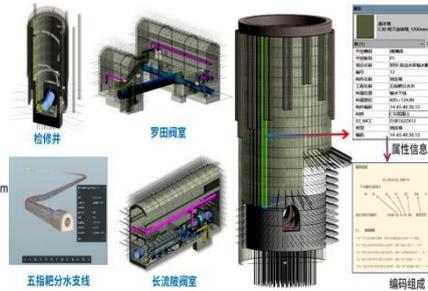


图 2 模型深化

基于深化后模型完成场地布置模拟、方案优化、碰撞检查及重难点工艺模拟，利用自主开发轻量化插件进行模型 GIS 数据转换，搭建数字化交付载体，依托于智慧建造平台，实现 4D 进度模拟，工程量统计，可视化分析，物料追踪等应用。

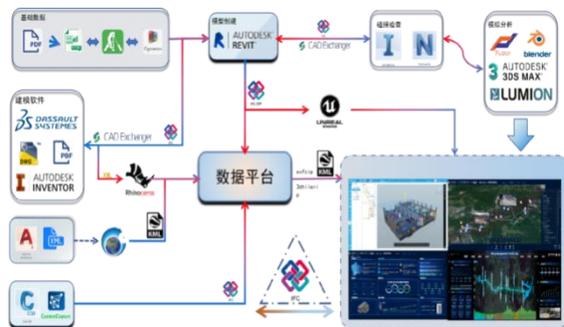


图 3 数据流程图



图 4 设计模型深化

以实际应用为例，面对本项目临建场地布置可利用空间有限、不同施工阶段变化大的问题，项目凭借三维模型可视化和可快速编辑的功能，动态模拟不同临建方案下的施工组织，验证方案可行性，并通过组合对比得出相对最优方案，有效提高临建设施在不同施工阶段的复用度，减少对主体施工的影响。



图 5 基于 bim 场布方案优化



图 6 基于 bim 进度管理

#### 4.2 BIM+GIS 数据集成应用

基于 BIM+GIS 引擎实现一张图一网统管，加载项目业务管理数据、智慧工地 IOT 数据等，多种维度下对模型和信息等进行查看、分享、提取、分析、利用，为项目施工阶段实时提供统计数据。主要在于宏观区域的应用，能够对整个项目的过据数据进行采集、储存、管理、运算、分析、显示。为本项目长线工程应用、特点实践，提供更深层次的底层技术支撑。

建立 BIM 技术+项目管理 (PM)+物联网集成应用的协同管理平台，方便项目管理信息的收集、处理、分析，解决参建单位多、管理难度大、“信息孤岛”现象等问题。利用协同管理平台，实现基于 BIM 平台图模一体化集成查看，辅助施工现场方案审批、技术档案管理、验收管理等工作。利用移动终端和物联网技术实时采集数据的功能，基于 PC 端和移动端协同应用，实现 BIM 平台与物联网技术、GIS 系统相结合，形成一张图辅助决策系统，通过数据自动收集、分析，预测发展，实现超前控制、实时控制，辅助工程管理者掌控现场施工情况和做出决策，有效提升项目管理精细度与实时性水平。

开发 GIS+BIM 征迁用地管理系统。将临时和永久用地、地块归属、林地、森林公园、自然保护区等地理信息进行集成，通过可视化展示。通过对项目实景数据采集、GIS 数据转换及 BIM+GIS 平台一张图决策系统界面开发，形成 BIM+GIS 技术体系与传统拆迁相结合的智慧用地管理体系，推进数字孪生城市建设，探索

全区域“智慧征迁”，推动深圳市“一张图”在项目建设中用地征迁领域的应用，形成示范性智能化的新型城市基础设施体系。该应用在深圳市固投会上汇报，并得到市水务局高度认可。



图 7 BIM+GIS 决策系统

BIM 与 IoT 的集成应用，实现施工现场数据实时采集、远程管控。罗铁项目隧洞主线长，涉及 TBM/盾构、钻爆等多种地下施工工艺，全局工程管控、精细化管理难度大。项目围绕“人、机、料、法、环、测”等要素，利用视频监控、人员定位及实名制通道等物联设备，打造隧洞内智慧感知全覆盖系统。

通过布设网络光纤和 WiFi 基站、洞口实名制通道、人员定位设备、有毒有害气体监测、视频监控等手段，实现施工现场网络全覆盖和物联感知全覆盖，重点关注隧洞内及井内工作环境实时监测和危险作业可视化。在项目智慧建造平台将定位基站数据、实名制数据、视频监控、监测数据与 BIM 模型进行集成，实时展示进洞人员车辆、信息、数量和位置信息以及各工作面施工情况。并将现场物联数据与管理流程体系进行集成，实现超限预警和风险自动识别处置，为项目安全生产保驾护航。

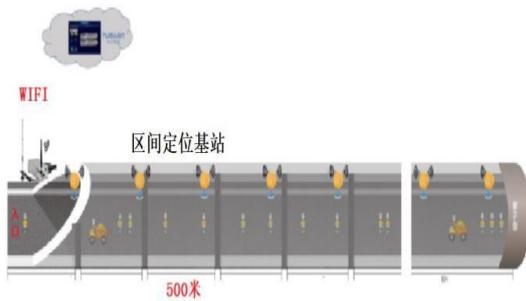


图 8 人员定位



图 9 环境监测

## 5. openBIM 应用效果总结

OpenBIM 在本项目中的应用主要体现在基于 IFC 的数据交换和管理方面。根据 ISO 19650，建立了涵盖设计、施工、交接和运维的多流程 BIM 信息管理机制和 CDE，形成了一个协作环境，让所有参与者无障碍地沟通，提供更自由、更顺畅的工作体验。本项目的模型是使用三个支持 OpenBIM 的软件制作的。所有项目参与者都使用 IFC 标准来审查设计模型，确保了设计的透明性和互操作性。基于高精度模型和模型数据，项目团队能够实现无纸化管理，即通过电子方式共享、查看和注释项目文档，减少了对传统打印图纸的需求。通过数值化建设这种集成的方法，项目团队能够更加高效地管理和协调复杂建筑项目，精确地传达和执行设计意图，提高了施工的速度和精度。这种方法还为后续项目阶段（如施工和运维）奠定了坚实的基础，为整个建筑生命周期管理提供了支持。

## 6. 专家热议

信息化的技术应用正在逐步的改变传统项目管理模式，通过在项目管理中应用信息化手段代替现场管理人员完成一些重复、危险的工作，在降低成本的同时确保项目的安全生产，这是公司科技创新、智能创效在施工现场的具象化体现，也是未来发展的趋势之一。

周跃飞 中国水利水电第十四工程局有限公司深圳片区负责人

OpenBIM 技术的应用打破了不同软件、公司及行业之间的数据壁垒，确保了

BIM 应用成果和数据在项目不同阶段的传递性，保证了 BIM 技术在项目上真正实现全生命周期应用，也降低了施工方在 BIM 应用方面的成本。

史文先 中国水利水电第十四工程局有限公司罗铁项目 BIM 负责人

## (2) 山路崎岖智慧行迹：扩展 IFC 在山地齿轨系统工程建 模中的应用

### 1. 公司介绍

西华大学（简称西华，XiHua University）是一所四川省属重点综合性大学、国家“中西部高校基础能力建设工程”重点支持高校、教育部本科教学工作水平评估优秀高校、四川省“卓越工程师教育培养计划”高校、四川省首批“一流学科”建设高校。学校坐落于四川省成都市，拥有郫都、宜宾、彭州、人南、易三仓（泰国）五个校区，校园面积近 4000 亩，地理位置优越，环境优雅宜人。西华大学承担国家和省部级重点科研课题 900 余项，获批四川省青年科技创新研究团队 8 个、四川省自然科学基金创新研究群体 2 个、四川省哲学社会科学高水平研究团队 2 个，累计荣获部省级以上各类成果奖 60 余项，连续在国家重点研发计划、国家重大专项、国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金区域创新发展联合基金重点项目立项，四川省技术发明一等奖、四川省社会科学优秀成果一等奖奖励，高水平论文，千万级科技成果转化等方面实现新的突破。

四川蜀道新制式轨道集团有限责任公司整合重组于 2021 年 12 月，注册资本 60 亿元，为蜀道投资集团有限责任公司旗下 14 家核心子集团之一，是蜀道投资集团有限责任公司贯彻省委、省政府“交通强省”战略的重要载体和全省轨道

交通建设领域的主力军，重点聚焦山地轨道交通投资建设运营、城市轨道交通投资建设运营和多元经营三大业务板块，着力开展山地轨道、电子导向胶轮系统等新制式轨道交通项目的投融资建设和运营管理，拓展新制式轨道相关多元产业协同发展，积极推进“轨道交通+旅游”一体化发展，积极打造交旅融合品牌项目。

中铁二院工程集团有限责任公司（简称中铁二院），原名铁道第二勘察设计院（简称铁二院），成立于1952年，隶属于世界企业500强中国中铁股份有限公司，是国内最大型工程综合勘察设计企业之一。作为中国首批获得“工程设计综合甲级资质”的企业，公司持有国家甲级勘察、设计、咨询、工程监理、工程总承包、环境评价等资质证书和对外经营资格证书、ISO9001质量管理体系和ISO14001、OHSAS18001环境、职业健康安全管理体系认证证书。公司设有40多个勘察设计专业，业务范围涉及国内外铁路、公路、地铁、城轨、市政工程、工程监理、咨询、港口、房地产、产品产业化等多个领域。近年来，在全国勘察设计企业百强排序中，中铁二院勘察设计收入连续九年名列前茅，其中连续八年位列首位。2014年，被中国勘察设计协会评选为“全国勘察设计行业创新型优秀企业”、被中国地方铁路协会评选为“全国地方铁路先进单位”。

## 2. 项目概况

“都四”线路起于都江堰市区成灌快铁都江堰站，止于阿坝州小金县四姑娘山镇，线路全长123.18公里，设12座车站，总投资达213亿元。海拔从600余米爬升到3000余米，又要兼顾环保、景观、旅游等因素，都四项目学习借鉴国外山地轨道交通成熟经验，结合国内CRH动车组技术，采用“轮轨+齿轨+米轨”及第三轨供电设计，成为了全国首条山地轨道交通项目。

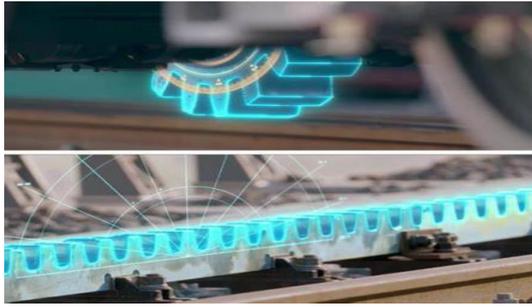


图 1 齿轨啮合关键技术



图 2 齿轨铁路建造现场图

该线路不仅是一条重要的交通运输线，也是一条专为旅游设计的观光铁路。四姑娘山作为国家级自然风景区，以其独特的高山美景吸引大量游客，而铁路的建设将显著提升该区域的可达性和旅游体验。项目建成后，游客可方便快捷地从都江堰直达四姑娘山，沿途还可欣赏到四川的壮丽自然景观。

除了促进区域旅游业的蓬勃发展，铁路还将推动都江堰、阿坝藏族羌族自治州及周边地区的经济发展。该项目致力于在建设过程中充分保护沿线的自然生态系统，采用绿色环保的施工方案，确保对自然环境的影响降到最低。项目预计建成后，不仅是中国铁路发展的一项重要成就，还将成为山区铁路技术的示范性工程，有助于中国在国际山地交通建设领域的进一步发展与创新。

### 3. 项目难点

#### 3.1 工程设计理论及技术空白

国内无齿轨铁路制式工程应用案例，齿轨工程设计理论及技术空白。同时，齿轨铁路轮齿传动系统与既有齿条传动应用相比，具有显著的不同，首先是重载；然后是开式环境，地处高海拔山区，温差大、多雨雪；此外又具有长距离传动特点，一般为几十甚至上百公里；最为特殊的是变中心距传动，主要是因为轮轨大磨损量以及底部道砟弹性支撑引起。而针对上述特点的轮齿传动技术研究则几乎空白。总的来说，齿轨服役条件恶劣，再叠加线路大坡度小半径、长距离点支撑等因素，这对齿轨啮合系统的设计带来了巨大挑战，车轨大系统相互作用机理也

更为复杂。在国外多个国家将齿轨应用于当地山区出行，重点服务于山地旅游景区及附近城镇客流。与传统轮轨铁路相比，该制式主要是通过齿轮齿轨啮合，以弥补列车在大坡度轮轨黏着力不足的问题。该轮齿啮合系统可助力列车爬坡能力超过 200%，最高可达 480%。



图 3 三维 GIS 场景选线

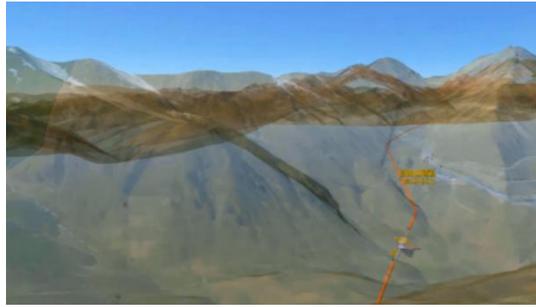


图 4 根据山地特点，在大坡度段使用齿轨

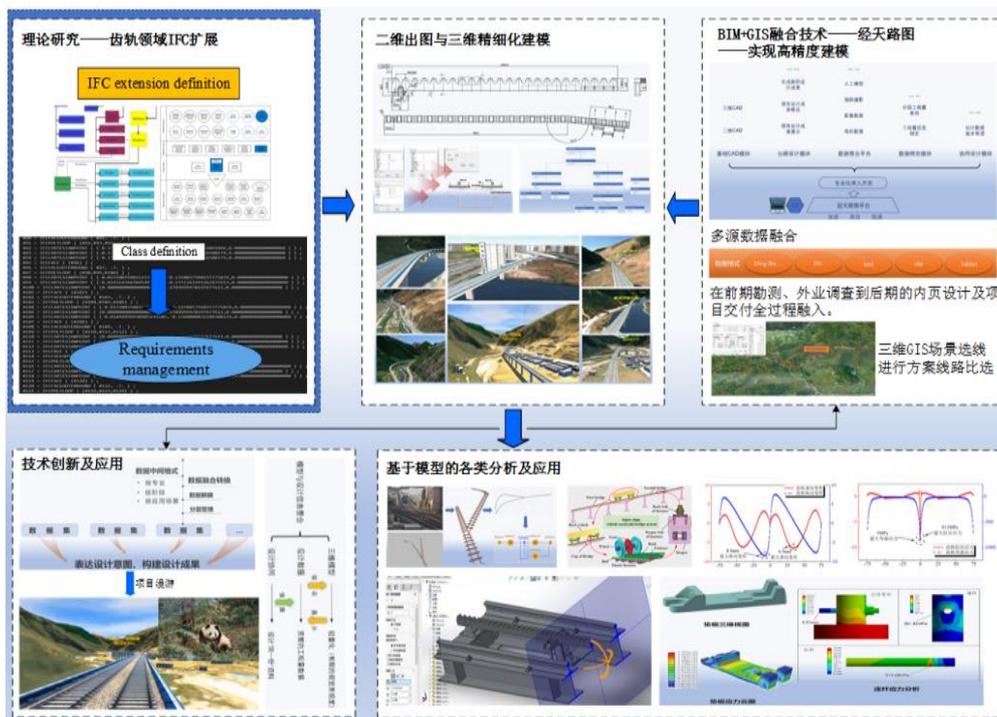


图 5 项目整体技术路线图

### 3.2 核心轨道装备缺乏，性能指标不清

国内齿轨铁路核心轨道装备缺乏，性能指标不清。传统轨道部件的指标及功能已不能满足齿轨系统的稳定性、股道及入齿转换等基本需求。首先，齿轨铁路制式的纵向承载要求更为严苛，这对齿轨扣件阻力提出了更高的要求，传统扣件性能已严重不足；而对于穿孔式扣件则需轨枕位置严格匹配连接孔，施工不便。同时，传统道岔结构已非常复杂，且为薄弱环节，在此基础上实现道岔与齿条线形及结构的融合，挑战更为巨大。此外，在轮轨地段与齿轨地段的连接处，如何实现以车辆不停车，乘客不换乘的方式驶入齿轨地段，并实现轮齿的直接啮合，且齿轮姿态随机，冲击较大，这对该机构的安全设计要求进一步提升。

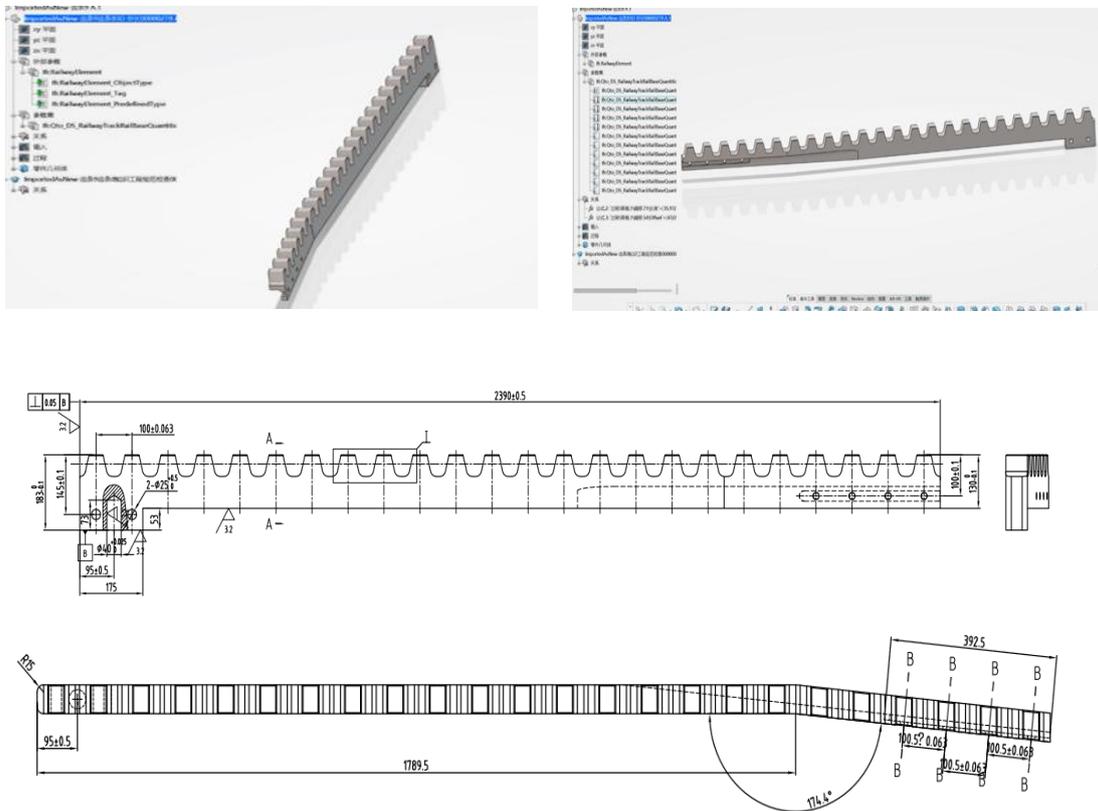


图 6 特殊齿条

### 3.3 相关技术标准空白

早期国内关于重载、低速及开式大型齿轮齿条啮合传动系统主要为矿山机械，海洋钻井及升船机等，但与齿轨系统的应用条件仍存在巨大差异。近期，则随着齿轨铁路规划设计、工程建设及装备产业的持续推进，国内学者的研究内容也从初期的齿轨发展里程及制式适应性的探讨，逐步转变为了齿轨车辆及轨道等方面的技术深入研究。基于此，展开 IFC 齿轨系统扩展研究，从专业层、共享层、核心层、资源层方面进行类型定义。

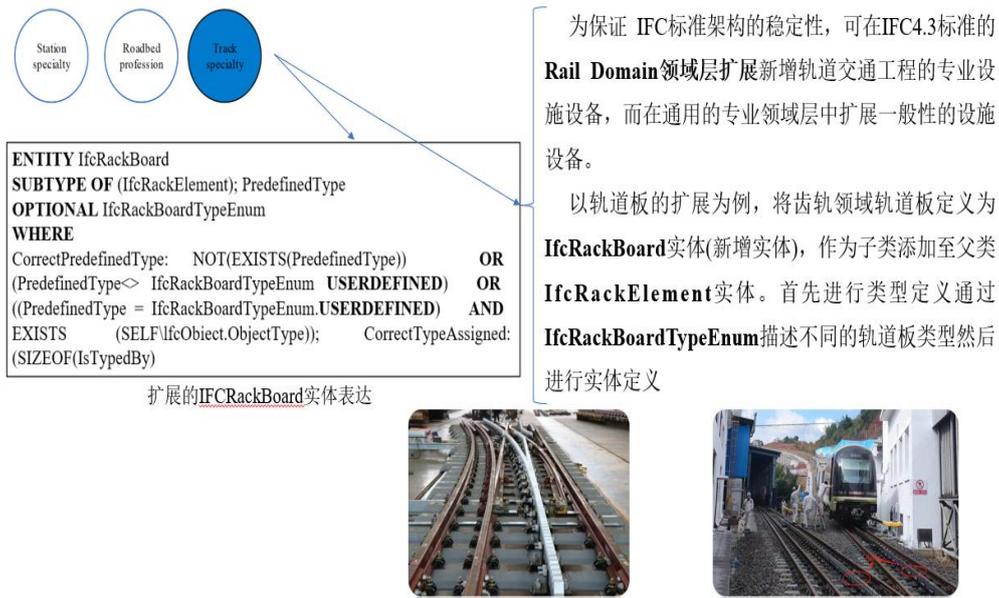


图 7 IFC 扩展

#### 4. openBIM 的典型应用

##### 4.1 基于 IFC 标准的齿轨实体属性集扩展与表达

《铁路工程信息模型分类和编码标准》(International Framework for Dictionaries)对铁路领域的每个概念和术语进行了唯一的类型编码定义，具有层级清晰、信息对等和精确可靠的优点，将轨道工程构件按功能、形式、工项和产品分为 5 个层级。依据 IFD 标准的轨道构件层级，以实际的生产活动为基础，以静态扩展的方法为基准，对铁路轨道领域展开了有关的实体扩展，在各个级别

中，都采取了同样的方式来进行定义，并利用层次之间的高低关系相互嵌套来达到对轨道构件单元的构成。

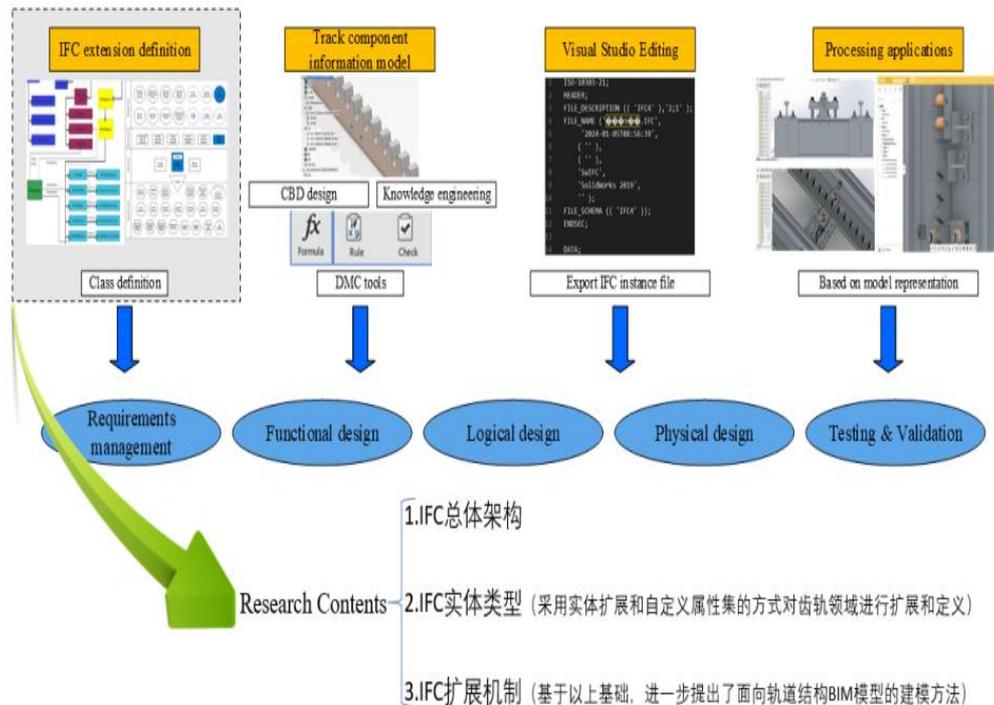


图 8 IFC 研究技术路线

#### 4.2 基于模型的各类分析及场景定义

桥梁方面拟采用装配式钢筋混凝土梁桥体系，该体系由钢筋混凝土基础、钢管混凝土桥墩、钢箱混凝土盖梁、钢混组合梁体组成，其桥墩、盖梁、主梁混凝土浇筑不需要模板，可工厂化预制，现场吊装，对环境的影响小。

长大隧道方面拟采用成熟的TBM或盾构技术，最大程度地降低对沿线动植物的影响，减少对山体破坏。同时将综合利用后的多余弃渣全部运出自然保护区，力争做到“零废弃，零污染”，最终形成生态友好的工程技术方法。

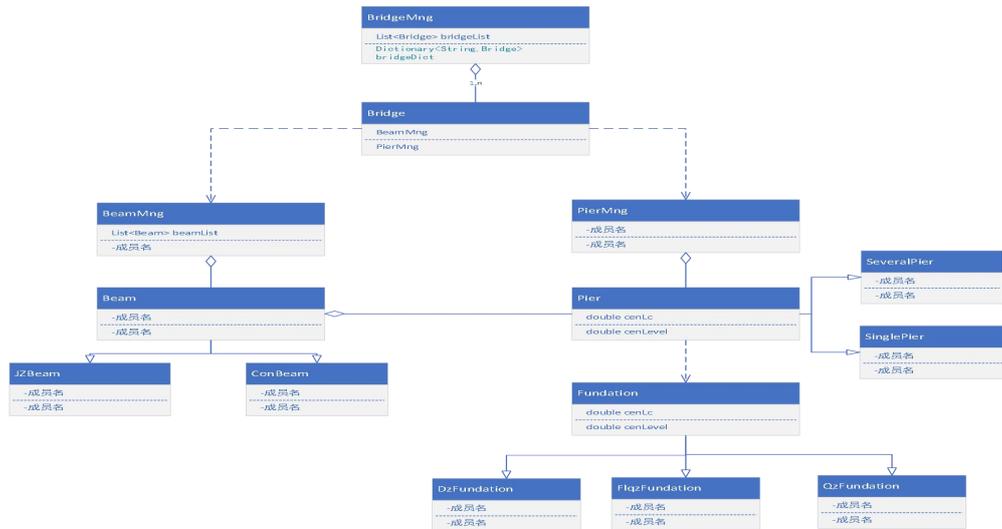


图9 桥梁数据模型各类间的聚合关系

建立轨道交通列车调度分析逻辑模型、齿轨列车-轨道-桥梁系统动力相互作用模型及相关设备有限元分析，以应对齿轨铁路系统的安全性、经济性以及舒适性。

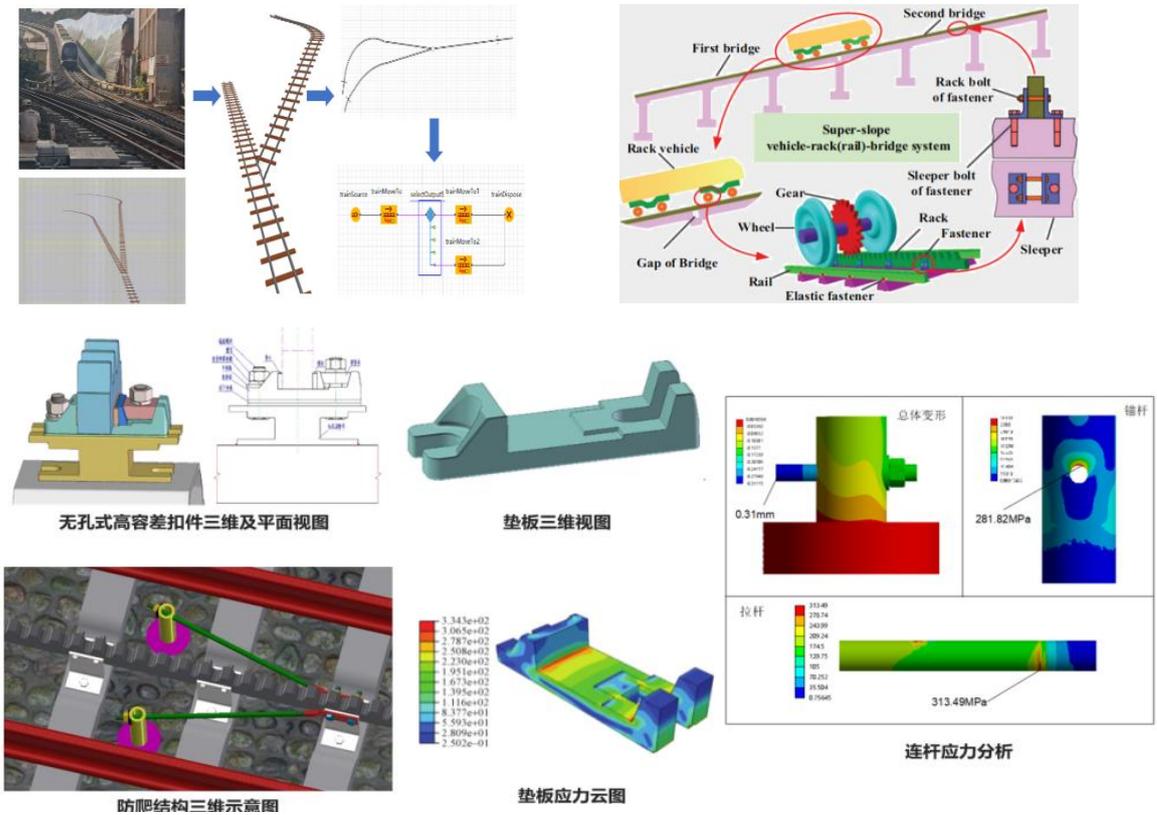


图10 基于模型的各类分析示意

## 5. openBIM 应用效果总结

openBIM 的使用为我们的项目带来了便利的互操作性和数据沟通。在研究推行绿色建造和打造环境友好工程的过程中，特别是在生态敏感区域，如卧龙国家级自然保护区、四姑娘山国家级自然保护区和大熊猫世界遗产地，引入 BIM 和 GIS 技术的结合使用发挥重要作用。基于 IFC 标准，实现在不同层次和阶段中保持数据模型的相同结构和语义，从而确保数据在整个系统中的流动是连贯和可靠的，实现数据模型的一模到底。

BIM 技术帮助项目团队在设计阶段就考虑到环境影响，通过建立详细的三维模型来模拟施工过程，预测并减少对环境的影响。GIS 技术可以在更大范围内分析项目的地理和环境因素，包括地形、气候、水文、土壤类型以及保护区边界等信息。结合这些数据，可以制定更加科学合理的施工方案，确保工程活动不会对生态敏感区域造成破坏。

## 6. 专家热议

都江堰至四姑娘山山地轨道交通线路，围绕山地齿轨铁路列车运行控制关键技术，通过 BIM 技术创建三维模型可视化，实现了设计与施工的无缝对接。引领世界齿轨铁路工程建造领域技术发展，具有重大的科学意义和显著的社会经济效益。

沈永然 达索系统大中华区基础设施行业高级总监

都江堰至四姑娘山山地轨道交通项目在建设过程中，充分利用了现代信息技术，特别是在大数据和人工智能领域的创新应用。项目还在环境保护和可持续发展方面做出了显著贡献。通过引入生态友好的施工技术和材料，项目团队有效减少了建设过程中的环境影响，保护了沿途的生态环境。同时，铁路的建成将为当地居民和游客提供便捷的交通方式，促进了区域经济的协调发展，进一步体现了

该项目在社会经济效益方面的重大意义。这一技术的成功应用不仅为山地轨道交通系统提供了可靠的技术保障，也为以后同类项目的智能化管理树立了新的标杆。

朱明 四川省交通勘察设计研究院有限公司、总工程师

都江堰至四姑娘山山地轨道交通项目在设计 and 施工阶段，充分运用了 BIM 技术。通过 BIM 技术，项目团队能够构建高精度的三维模型，对复杂的地形和地质条件进行仿真分析，精确预测和解决潜在的工程问题。这一技术的应用，不仅提高了设计的准确性和施工的效率，还减少了现场调整和返工的可能性，确保了工程的顺利进行。都江堰至四姑娘山山地轨道交通项目通过 BIM 技术的全面应用，再次证明了科技创新在现代工程建设中的重要性和巨大潜力。

卢文龙 中国铁道科学研究院电子所工程系统部、副总经理

### **(3) BIM 技术在菲律宾马尼拉滨海新城项目围堰吹填施工阶段的综合应用**

#### **1. 公司介绍**

中交一公局集团有限公司海外分公司（China First Highway Engineering Company Ltd.）成立于 2002 年 10 月，总部位于北京，隶属于中交一公局集团有限公司（英文缩写 CFHEC），前身是 1958 年成立的交通部援蒙办公室，是中国最早进入国际工程承包市场的中央企业之一。海外分公司是中交一公局集团国际化发展平台，主要承担境外新市场、新业务开发、投融资与收并购、资源整合、项目实施、属地化经营和引领国内企业“走出去”，带动集团海外业务转型升级、实现高质量发展的历史重任。公司在全球设有十个区域中心、33 个营销机构、在 26 个国家有在建项目，涵盖亚、非、欧、美等四大洲，在建项目合同额超过

80 亿美元，全球从业人员超过 13000 人。经营领域涵盖大交通、大城市、江河湖海、工业基础设施和政府服务，海外经营不断向国际工程承包产业链高端迈进，建设了一大批具有国际影响力的标志性工程，是“一带一路”倡议的践行者和中非合作的开路先锋。长期以来，公司致力于为客户创造价值，为员工实现价值，为东道国展现价值，始终向着建设具有全球竞争力的世界一流企业目标迈进。

项目概况

菲律宾马尼拉滨海新城项目（PHILIPPINES MANILA WATERFRONT CITY RECLAMATION PROJECT），由马尼拉市政府、菲律宾企业 WATER FRONT 和中交一公局集团共同投资建设。项目位于菲律宾首都马尼拉，地处菲律宾最大的天然良港湾——马尼拉湾。



图 1 项目鸟瞰图



图 2 项目鸟瞰图

项目于 2019 年 4 月 27 日，在“一带一路”高峰论坛企业家大会上签订合同，采用设计施工总承包加融资模式（EPC+F），主要工程为填海造地 318ha 土地，其中北岛 154.7ha，南岛 163.3ha，围堰总长度为 9913.5m，吹填总方量约 5544 万  $m^3$ 。主次干道总长度为 15.889km；与陆地连接的两座桥梁长度为 397m、187m，两岛间连接的桥梁长度为 97m。以及沿主次干道布置的给排水、通信、电力管道等市政配套工程。

马尼拉海滨城建成后，将为马尼拉市区增加 7%的土地面积，预计将通过企业税收和房地产收入，为马尼拉市提供 33 亿比索的年收入和 100 万个就业机会，将为公众提供 1500 亿的年就业收入。

## 2. 项目难点

### 项目结构种类多

项目结构涉及水下地基处理、围堰、吹填、桥梁、市政管网、市政道路及相关配套工程，材料种类繁多，技术方案和施工工艺复杂。导致施工队伍的专业技能、专业设备需求多样化，增加管理难度。

专业施工交叉多，施工组织困难

本项目位于马尼拉南港防波堤内部，施工水域受临近码头靠港船舶影响较大，地基处理、围堰施工、吹填施工等工作面同时进行，导致施工过程中的工序协调、材料资源调配工作难度较大。

### 信息资料管理困难；

本项目涉及来自业主、集团公司、专业协作队伍多方的信息需求以及对应的信息反馈，庞大信息的生产、分类、出版、存档、溯源以及不同部门之间的信息共享问题，使项目面临巨大的信息管理挑战。

### 隐蔽工程验收困难

本项目大部分主体结构均为水下工程，包括水下基槽开挖换填、挤密砂桩复合地基、吹填、围堰抛石等工程，管理人员需要借助仪器检测的方式，对水下结构物进一步了解。其质量检测过程复杂、困难。

## 3. Open BIM 的典型应用

在“一带一路”倡议推动下，中交一公局集团积极推动信息化、数字化在国际工程项目管理中的应用实践。本项目作为公司试点，被赋予更高的要求，同时结合业主对项目的规划和要求，项目部在项目筹备阶段，针对信息化应用开展专题策划。

### 编制 EIR 和 BEP

本项目基于 Open BIM 系列标准，结合项目实际情况，梳理相关业主、当地

法律、集团公司、项目的信息需求，编制整体实施路线（见图3），作为项目的整体应用大纲，由确定需求，制定标准，编制策划、搭建模型、信息生产、项目管理平台六大部分组成。其中BEP作为项目BIM应用的大纲文件，详细描述了项目的整套运行流程。

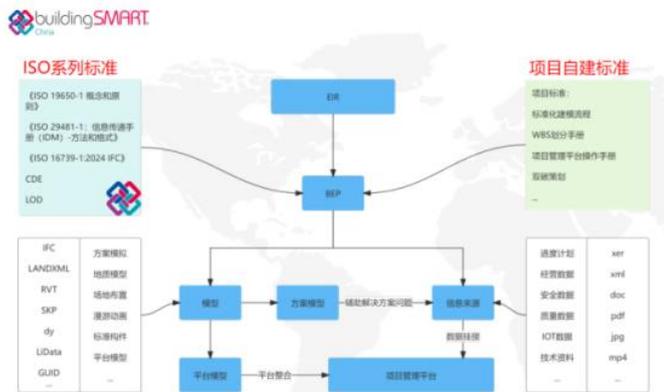


图3 项目整体实施路线



### 信息传递手册 IDM (Information Delivery Manual)

基于 ISO 29481—1: 2010《建筑信息模型 (BIM) -信息传递手册 (IDM) -第1部分: 方法和格式》，编制项目生命周期BIM应用过程和信息交换需求，规定各个阶段进行的BIM活动，描述项目参与者之间交换的信息需求。让所有团队成员都可以清楚地了解他们的工作流程，以及如何与其他团队成员执行的流程交

互。在确定整体信息传递流程图后，由相应部分的负责人组织深化、制定更详细的应用流程图。本项目制定了整体的BIM执行流程图，包括在设计和施工阶段的BIM应用点信息产出、传递流程图，软件信息产出、传递流程图。以下两张图（图4和图5）帮助团队成员更加立体地了解项目BIM规划，明确自己的职责以及上下游的信息需求，极大提高工作效率。

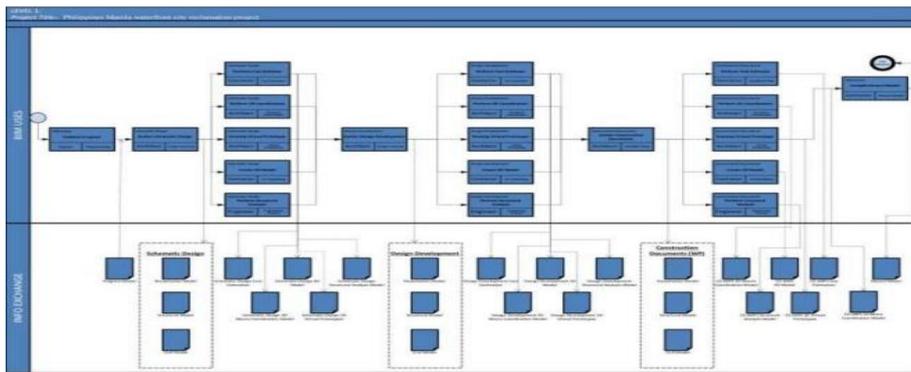


图4 BIM应用流程图

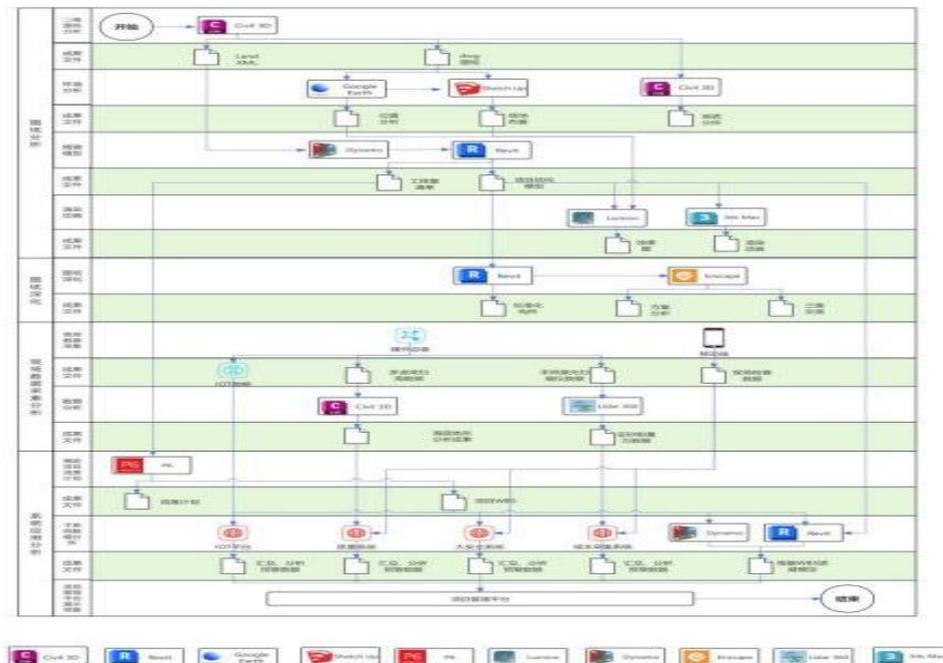


图5 BIM软件应用流程图

## CDE(Common Data Environment)

在 ISO 19650 中, CDE 对信息所处的阶段进行了划分, 分别是工作状态 (Work in Progress)、共享状态 (Shared)、发布状态 (Published)、存档状态 (Archive)。信息在四个阶段的管理会涉及不同的工具, 同时也会涉及不同的管理流程与要求, 而 CDE 作为一个产品体系为不同阶段的不同需求服务。为了满足项目施工管理、现场协调的需求, 公司组织开发了面向所有在建项目的信息管理平台——BIM+GIS+IOT 项目管理系统 (见图 6), 作为 Published 阶段的 CDE。

本系统通过不同权限设置实现不同颗粒度的项目管理, 从现场格子长到项目部到区域中心到公司总部的数据穿透式汇总分析, 见图 7。以进度计划为主线, 通过 WBS 编码将模型、进度、安全、成本、产值、质量、现场数据串联起来, 实现基于模型构件的信息管理, 以分级着色渲染的方式, 进一步实现异常数据预警。随着时间积累, 将形成企业数据资产, 为后续公司招投标及现场施工提供数据支持。项目管理系统通过唯一的 WBS 编码, 将模型与各子系统数据挂接, 实现基于模型的信息管理。各子系统之间也可以进行数据流转, 达到一源多用的目的, 减少重复性工作, 见图 8。



图 6 项目管理平台项目级看板



图 7 平台架构



图 8 WBS 及子系统数据共享

### 数字孪生

数字孪生是通过实时数据的映射，将物理对象的状态反映到虚拟模型中，让管理者能够通过虚拟平台监测和操作实际工程现场。

本项目施工船舶较多，位置临近马尼拉湾南港码头，船舶管理困难，同时根据项目吹填施工精细化管理要求，每船砂子要卸到指定区域，对船舶调度员的要求很高。因此在项目管理平台中打造船舶施工数字孪生场景，将 1:1 船舶模型(图 10) 与船舶 AIS 数据挂接，并通过 5G 信号实时更新到统一的 GIS 环境中。可实时监控船舶运行状态、船舶位置以及船舶相关信息，见图 11。方便调度员远程指导船舶作业，对闯入施工区域外部船舶进行预警、定位、监控、劝离。



图 9 现场施工图

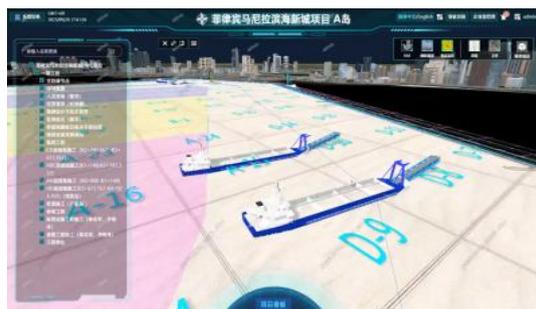


图 10 系统船舶实施状态



图 11 船舶信息

挤密砂桩监控系统运用 5G 信号将船舶打桩参数实时传回总部，工作人员可根据传回的数据远程指导施工，及时发现异常，打桩完成后即刻生成打桩报告，备份存档，保证数据的真实性，见图 12。在挤密砂桩管理界面，可直观地查看整体进度、成桩记录等，见图 13。在进度管理界面，将每根桩的数据与 BIM 模型通过 WBS 编码挂接，实现一桩一档，便于后续溯源分析，见图 14。



图 12 监控界面

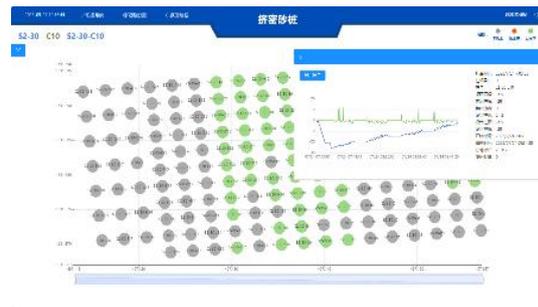


图 13 打桩管理界面

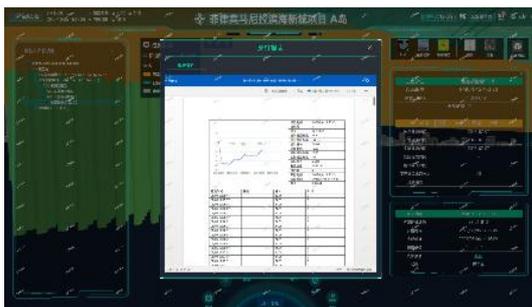


图 14 进度管理界面

数字孪生系统能够将施工过程中的实时数据形象直观地反映在可视化平台上，帮助管理者更准确地了解施工状态，提升对风险事件的敏感度与应急响应速度，提高施工质量，极大简化管理流程，达到提质增效的目的。

#### 4. Open BIM 应用效果总结

**提升项目协同效率：**Open BIM 的开放性数据格式，使不同软件平台之间的模型交换更加便捷，减少了因格式不兼容导致的沟通障碍。项目的各个参与方可以在一个通用平台上访问和使用相同的数据，从而增强团队协作，降低信息传递中的误解。

**提高数据透明性和可追溯性：**通过 Open BIM，项目的各个环节（从设计到施工）都可以利用同一个信息源。数据透明性提高了项目的可控性，便于在项目生命周期中追溯每个环节的决策依据。

**降低成本与时间浪费：**通过 Open BIM，建筑信息数据能够被多方高效利用，减少了重复输入和数据转换的工作。此外，Open BIM 的数据标准化也减少了后期变更的频率，从而缩短了项目周期，降低了相关成本。

**提升质量和减少风险：**Open BIM 通过提供准确的数据模型，便于提前发现设计和施工中的潜在问题，避免在施工阶段出现意外。统一的数据格式减少了信息丢失的风险，提升了建筑工程的整体质量。

**数据持久性与兼容性：**Open BIM 的数据格式是开放和标准化的，便于长期保存和使用，即便软件更替也可以继续读取和使用这些数据。这对建筑运维阶段的设施管理尤为重要。

#### 5. 专家热议

菲律宾马尼拉滨海新城项目的成功实践，不仅为 BIM 技术在国际工程项目中的应用提供了宝贵经验，也进一步推动了 BIM 技术的普及和发展。通过这一项目的成功实施，更多的国际工程项目将认识到 BIM 技术的巨大潜力和价值，进而在项目中引入和应用这一先进技术。这将为全球建筑行业的数字化转型和智能化发展注入新的动力。

李登峰 中交 BIM 中心副总经理

数字孪生系统的引入,使得施工过程中的实时数据能够形象直观地反映在可视化平台上,这对于提升施工质量和应急响应速度具有重要意义。特别是在船舶管理和挤密砂桩监控方面的应用,展现了数字孪生技术在复杂施工环境中的独特优势。

周纯玮 中交一公局集团数智化部总经理

通过 Open BIM 的应用,项目成功实现了各参与方之间的信息共享和协同管理。这种高效的信息流通方式极大地降低了沟通成本,提高了工作效率。同时,数据的透明性和可追溯性也得到了显著提升,使得项目管理更加精细化和标准化。这一成功实践为全球大型工程项目的协同管理提供了新的思路 and 模式。

李国华 中交建筑集团数字化管理部总经理

## (4) 淞云台绿色综合住宅施工阶段基于 BIM 的智慧建造

### 1. 公司介绍

湖南省第二工程有限公司成立于 1979 年,隶属于湖南建设投资集团有限责任公司,是一家集工程施工、投资开发、技术研发为一体的大型国有企业。公司先后通过质量、环境、职业健康安全“三位一体”的审核认证,建立有完整的质量、环境与职业健康安全管理体系。同时,凭借强大的创新意识和技术研发能力,公司被认定为国家高新技术企业。

### 2. 项目概况

建投·淞云台位于湖南省株洲市,包含 4 座住宅、4 座洋房、沿街商铺和 1 层地下室,建筑面积约 99000 平。项目致力于打造成高品质低密度绿色住宅,质量目标为湖南省内工程项目质量最高奖项,芙蓉奖。项目总体规划为 4 期,目前

一期已施工至主体封顶。

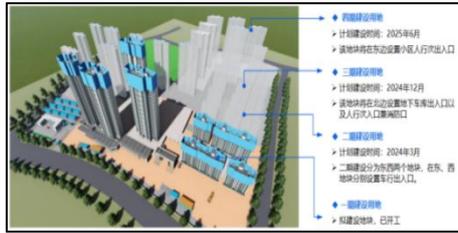


图 1 项目效果图



图 2 项目分期规划效果图

### 3. 项目难点

#### 1.1 体量大工期紧

本工程体量大、项目专业多，涵盖土建、机电、精装修、精品园林绿化，对交叉施工部署要求高。工期紧张，需完成从基础施工到毛坯交付。

#### 1.2 地下室机电复杂

本工程地下机电系统复杂、综合管线交错多，预留、预埋工作量大，精度要求高。根据传统的二维图纸联想管道安装位置有一定难度。

#### 1.3 创奖要求高

本工程致力于以先进设计理念、创新建造技术、严苛施工标准，打造高品质低密度绿色住宅，创奖要求为：芙蓉奖工程，中施企协绿色建造施工三星评价。

#### 1.4 新技术应用多

本项目开展了众多 BIM 相关领域新技术的探索，如：快速组装式砌块挡土墙、VR+AI 施工模拟、碳排放等。

### 4. openBIM 的典型应用

#### 4.1 设计与优化

根据项目进度，建立各专业的精细化模型。



图 3 整体建筑模型



图 4 整体机电模型

通过建立企业族库，将二维的《企业安全文明施工标准化图集》转化为三维可视化的族文件，进行施工现场标准化应用展示。在设计过程中制作了大量的参数化构件，包括门窗及部分常规构件，构件的参数化，加快了项目的设计进度，保障了项目的标准化及协同，同样的也提高了项目的设计质量。



图 5 标准化宣传栏

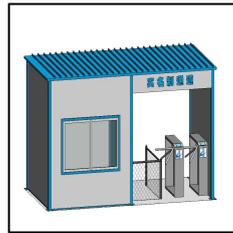


图 6 标准化实名制通道

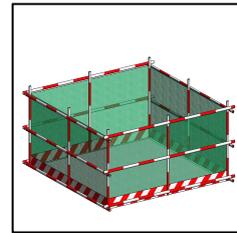


图 7 标准化洞口防护

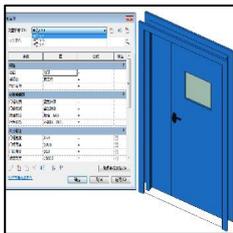


图 8 参数化子母门



图 9 参数化飘窗

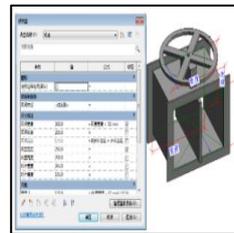


图 10 参数化阀门

细节关键节点做法和精装节点成立模型库，辅助项目创优和工艺交底。

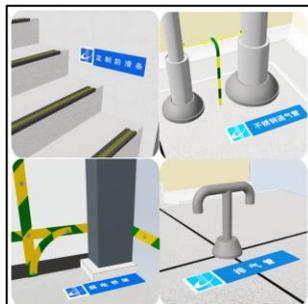


图 11 细节节点深化做法模型库



图 12 精装节点模型

优化砌体排布图，编制成砌体排布手册，交底给泥工班组提前切割，减少人工排砖的劳动强度，同时避免现场材料的乱堆乱放，节约材料用量、提高工作效率。



图 13 标准层排砖模型

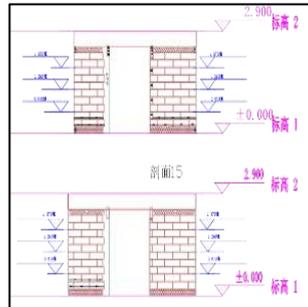


图 14 排砖出图



图 15 现场样板

ALC 墙板安装前，由 BIM 工程师结合层高、梁高、板厚、施工工艺等因素对 ALC 内隔墙进行预排，并建立 ALC 内隔墙模型。为避免 ALC 条板安装时位置出错，对每一块 ALC 条板进行编号，并确定安装顺序。

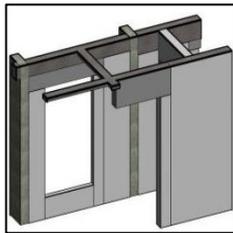


图 16 过道 ALC 轻质隔墙

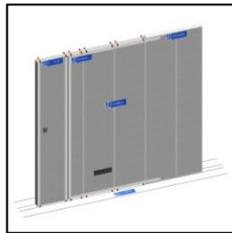


图 17 隔墙 BIM 深化



图 18 现场安装效果

机电模型搭建完成以后，制定项目管线综合实施流程、机电管线避让原则，应用内容包括碰撞检测、净高优化、洞口预留等。考虑机电管线及设备的安装空间及检修空间，对管线、设备综合排布，使管线、设备整体布局有序、合理、美观，最大程度的提高和满足建筑使用空间。

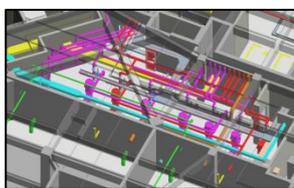


图 19 管综模型

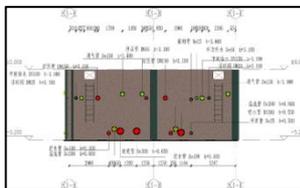


图 20 模型出图

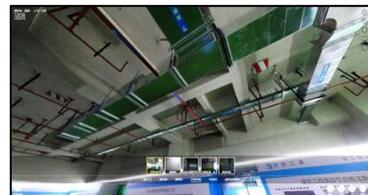


图 21 现场安装效果

#### 4.2 进度与成本

根据模型，确定各阶段的施工分区与流水顺序。

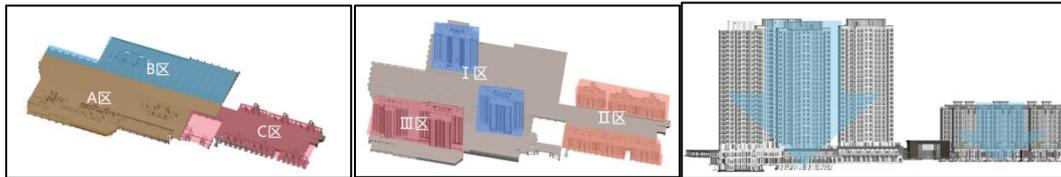


图 22 基础阶段施工分区 图 23 主体阶段施工分区 图 24 装饰装修阶段施工顺序  
模型联合进度计划，结合现场航拍，及时进行进度预警与纠偏。



图 25 进度模型



图 26 现场航拍预警

利用模型，统计工程量，对图纸深化后的模型与深化前模型进行工程量对比，明确工程量变化。

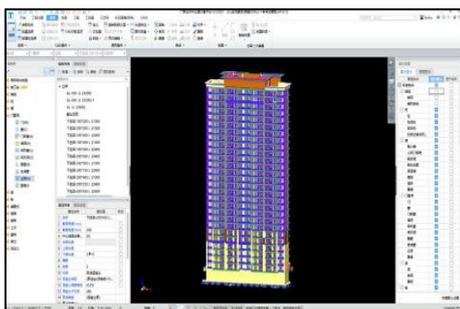


图 27 工程量模型

初步深化后工程量模型数据表				深化后工程量模型数据表			
类型	尺寸	长度	合计	类型	尺寸	长度	合计
槽式电缆桥架-弱电	300 x 100 x 100	337498	43	槽式电缆桥架-弱电	300 x 100 x 100	341695	33
槽式电缆桥架-弱电	300 x 150 x 100	396912	45	槽式电缆桥架-弱电	300 x 150 x 100	396112	32
槽式电缆桥架-弱电-ggd	100 x 100 x 100	228452	52	槽式电缆桥架-弱电-ggd	100 x 100 x 100	232364	28
槽式电缆桥架-弱电-ggd	200 x 100 x 100	948176	21	槽式电缆桥架-弱电-ggd	200 x 100 x 100	931145	17
槽式电缆桥架-弱电	200 x 100 x 100	473122	94	槽式电缆桥架-弱电	200 x 100 x 100	481074	29
槽式电缆桥架-弱电	200 x 150 x 100	428	1	槽式电缆桥架-弱电	200 x 150 x 100	30	1
槽式电缆桥架-弱电	200 x 200 x 100	30	1	槽式电缆桥架-弱电	200 x 150 x 100	67183	9
槽式电缆桥架-弱电	200 x 150 x 100	62252	11	槽式电缆桥架-弱电	400 x 200 x 100	399935	31
槽式电缆桥架-弱电	300 x 200 x 100	41582	11	槽式电缆桥架-弱电	500 x 200 x 100	59271	3
槽式电缆桥架-弱电	400 x 200 x 100	310311	33	槽式电缆桥架-弱电	600 x 200 x 100	33576	7
槽式电缆桥架-弱电	500 x 200 x 100	59053	3	槽式电缆桥架-弱电	800 x 200 x 100	29710	6
槽式电缆桥架-弱电	600 x 200 x 100	33723	9	槽式电缆桥架-弱电	200 x 100 x 100	89327	10
槽式电缆桥架-弱电	800 x 200 x 100	28579	7	槽式电缆桥架-弱电	500 x 150 x 100	514022	54
槽式电缆桥架-弱电(11#-弱电桥架)	400 x 200 x 100	81782	12	槽式电缆桥架-弱电	400 x 200 x 100	145902	21
槽式电缆桥架-弱电(弱电桥架)	300 x 200 x 100	41888	12	槽式电缆桥架-弱电	600 x 200 x 100	35036	10
槽式电缆桥架-弱电	150 x 150 x 150	282109	30	槽式电缆桥架-弱电	150 x 150 x 150	2417412	204
槽式电缆桥架-弱电	200 x 100 x 100	79895	12	槽式电缆桥架-弱电	150 x 150 x 150	282109	30
槽式电缆桥架-弱电	300 x 150 x 100	846189	79				
槽式电缆桥架-弱电	400 x 200 x 100	32136	23				
槽式电缆桥架-弱电	600 x 200 x 100	35432	12				
槽式电缆桥架-弱电	150 x 150 x 75	249792	249				

图 28 设计深化前后工程量对比

### 4.3 质量与创优

运用 BIM 技术创建虚拟工艺样板，提前策划样板施工方案，并指导现场实体样板间的施工，使施工过程规范、透明，实现标准化管理。



图 29 抹灰虚拟样板



图 30 抹灰实体样板



图 31 电梯井虚拟样板 图 32 电梯井实体样板

建立水泵房、配电房、风机房等重点创优部位模型，明确整体布局与细部做法。

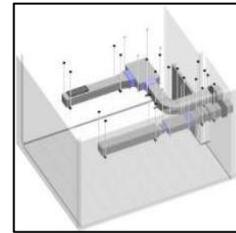
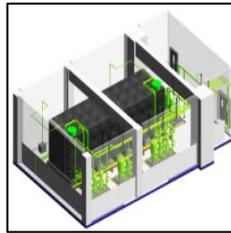
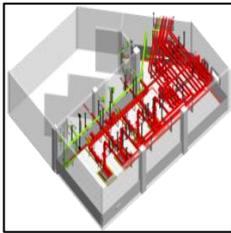


图 33 消防泵房 图 34 生活泵房 图 35 配电房 图 36 风机房

#### 4.4 BIM 技术创新应用

利用模型，设计承台地梁预支胎膜专利，并在现场投入使用，设计组装式砌块挡土墙，并取得相应专利证书。

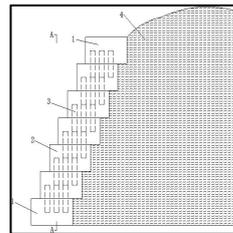
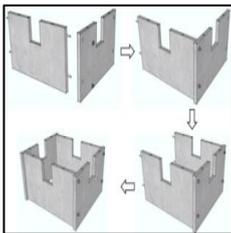


图 37 承台模型 图 38 现场安装 图 39 组装式挡土墙 图 40 专利证书

利用虚幻引擎自主研发 VR 虚拟平台，并在观摩中进行展示交流。

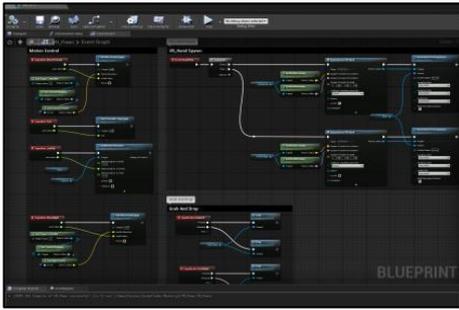


图 41 蓝图编程



图 42 VR 体验

提出工地物业“智慧管家”创意平台概念，为施工单位提供一种智能化的物业管理服务，提升项目安全文明形象。依托集团自主研发的碳排放计算分析管理系统，对项目能耗进行统计分析。



图 43 智慧管家平台系统架构



图 44 碳排放计算分析管理系统

## 5. openBIM 应用效果总结

通过全阶段、全部位的 BIM 技术应用，项目节约了直接经济成本 80 余万，在技术方面，提炼了一系列科技创新成果，通过图审、交底、数据协同管理等所带来的间接的、难以直接估算的经济效益也十分巨大。项目举办的“2023 年第四次株洲市建设工程质量安全生产标准化”现场观摩活动，BIM 技术的运用在观摩策划和实施中发挥了重要的作用，获得了业主单位的表扬，收到了行业内各级专家及同行的一致好评。通过本项目的 BIM 技术应用，更加明确了全过程、全方位的应用 BIM 技术的必要性，同时，也进一步积累了数据资产、完善了工作流程。

## 6. 专家热议

要加大科技创新力度，积极抢占装配式、模块化、智能建造、BIM 技术等制高点，稳步全面实现发展的动力变革和技术升级。要加快数字化转型，以“适用”为原则加快信息化建设，抓牢 BIM 工作的统筹管理，进一步促进 BIM 技术应用和

项目生产要素的集成，努力推进 BIM 与 CIM 的贯通。

蔡典维 湖南建设投资集团有限责任公司党委书记、董事长

数字技术与智慧建造的深度融合未来可期，湖南建投将从业务出发，解耦场景，关注数据，编制算法，向纵深演进。

陈浩 湖南建设投资集团有限责任公司党委委员、副总经理

## (5) 四川名人馆建设项目

### 1. 公司介绍

中国建筑第二工程局有限公司组建于 1952 年，总部设在北京，注册资本 100 亿元，具有国家房屋建筑和市政施工总承包“双特级”资质，是集投资、建造、运营一体化发展的国有大型总承包工程服务商，具备全产业链、全生产要素、全生命周期的经营管理能力。

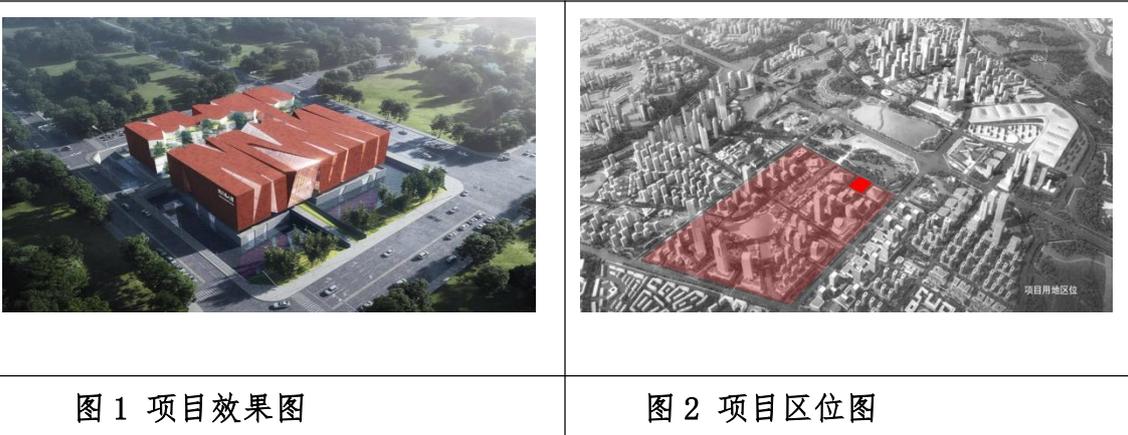
中建二局坚持“品质保障、价值创造”，拥有良好的社会信誉，累计获得鲁班奖 73 项、国家优质工程奖 145 余项、国家科学技术奖 14 项，詹天佑奖 29 项，华夏奖 35 项，被评为“守合同重信用企业”“全国文明单位”“全国优秀施工企业”“全国建筑业先进企业”“全国五一劳动奖”和首批“AAA 企业信用等级”等称号。

### 2. 项目概况

四川名人馆建设项目位于四川省天府新区中央商务区西区。项目建设用地 19.30 亩，总建筑面积 51591 m<sup>2</sup>，分主馆、侧馆两部分，主馆总面积 30954 m<sup>2</sup>，侧馆总面积 20636 m<sup>2</sup>，建筑高度 24 米。结构形式采用框架结构，具有型钢混凝土柱、预制柱、叠合板、钢结构等形式。

项目以“蜀山”的概念对外形进行塑造，在下沉场地内引入“蜀水”，形成“蜀山蜀水”的互动格局。项目为全国首例以国有企业为主体承建和运营的大型公益性文化项目。将融合现代博物馆设计理念，通过蜡像、雕塑、声光电等形式

分两期展陈从先秦至新中国时期的 140 位对四川影响深远的历史名人。



### 3. 项目难点

项目地域特色明显，表皮设计是难点

立面使用多边形红色混凝土装饰墙板，且模数多变。采用 AI 生图选定建筑设计参考图片，通过 GH 对多边形进行拟合并进行幕墙龙骨优化。

建筑层高受限，管综设计是重点

项目规划限高，层高压力较大。标准展厅层高 5.4 米，梁高 0.9 米，展陈净高要求最低 4.2 米，梁下管线空高仅为 0.3 米。采用数字化设计手段，并制定全新管网综合方案，实现精细化设计，确保满足陈展要求。

施工场地狭窄，施工部署是重点

基坑北侧放坡上口线距离道路红线 2.7m，施工总平布置难度大，无材料加工场地，无法形成环形道路。利用 BIM 技术完成三维场布深化设计，结合无人机、基坑智能监测系统定期检测，协助基坑安全及总平管理。

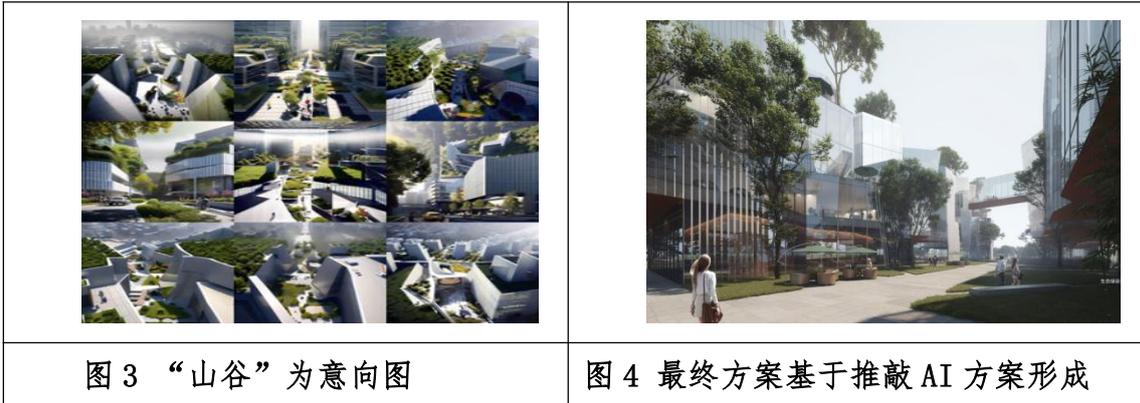
### 4. openBIM 的典型应用

数字化手段辅助方案设计

AI 辅助方案设计

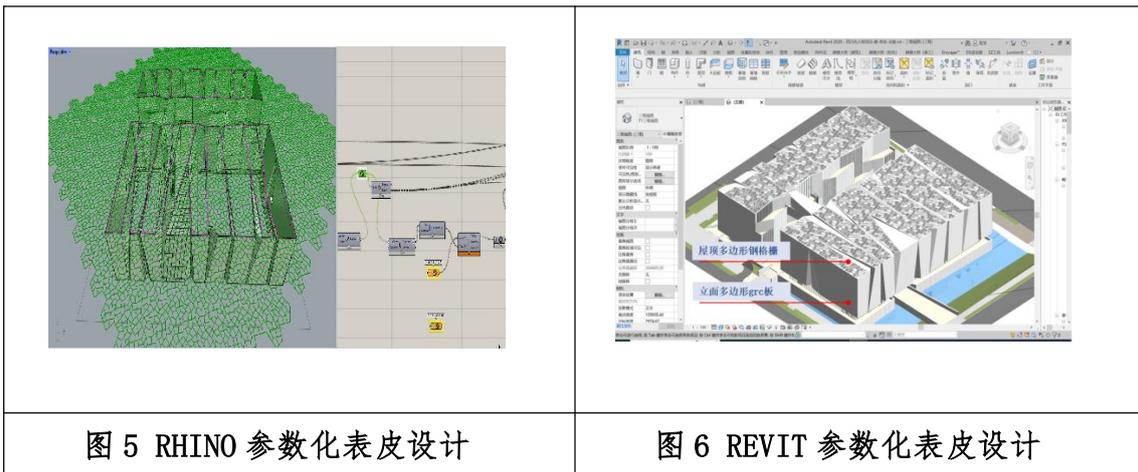
项目在建筑概念方案设计阶段，利用 AI 对建筑方案辅助设计。在 Autodesk 平台运用 Stable Diffusion 进行 AI 生图，以山谷意向作为 AI 训练基础。在 Controlnet 的控制下，进行 150 次迭代，形成 800 张 AI 方案。经过四次筛选，最终选定 9 张以“山谷”为意向的 AI 图片作为中间绿谷的建筑设计参考图片。

RHINO 参数化表皮设计



项目立面使用多边形红色混凝土装饰墙板，还原四川地区特有“红砂石”的色彩及肌理效果。建筑屋顶采用不规则多边形钢格栅，立面采用不规则多边形 GRC 分板。

为了保证建筑表皮的落地性，在研究建筑表皮的初期便通过数字化手段确定了整个建筑表皮的具有数学逻辑的无缝多边形基本单元。每个单元由 35 块不同的异形板拼结而成。通过 GH 对多边形进行拟合并进行幕墙龙骨优化。当多边形在建筑不同面转折交接时会出现一些异形的过小面不方便施工，对多边形进行参数控制，有理化设计输入条件，优化角度，消除过小面，合并过近点，以保证其落地性。



REVIT 参数化表皮设计

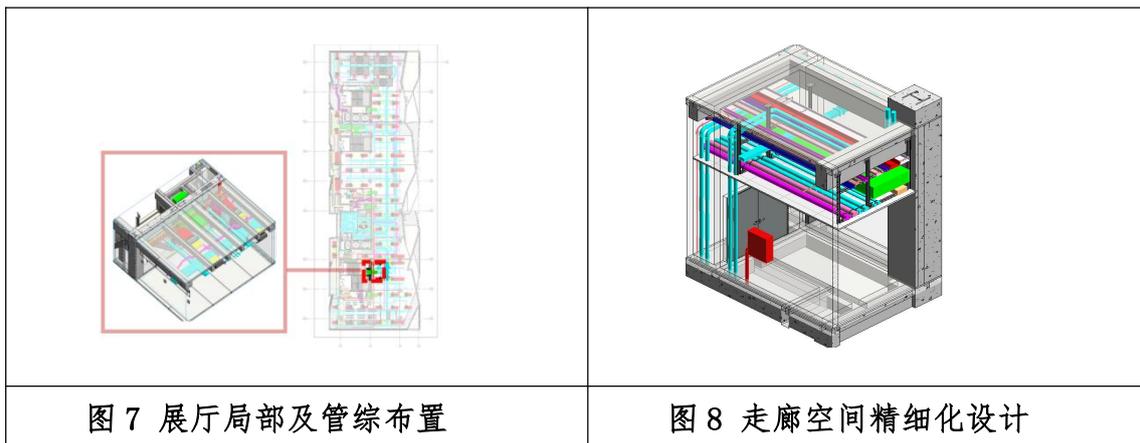
绿谷内侧界面寓意为玉石内部，形态复杂，为展厅参观和城市公共空间带来移步异景的流线体验，通过 Revit 模型分析复杂的立面表皮与结构关系。绿谷界

面通过不用参数的玻璃反射率及不同玻璃材质表达石头剖开晶莹剔透的感觉。通过 ENSCAPE 渲染软件对不同时间段光环境模拟，确定不同玻璃界面材质和反射率，从而达到类似于玉石晶体的虚实效果。

#### 数字化手段保障项目精细化设计

项目由于规划限高，层高压力较大。项目将制定计划及管网走向原则流程前置，再进行主干管网综合、支管网综合、最终整合完善全管网；生成净高分析报告及净高分析平面图；以保证设计的合理性及准确性。

针对商业及展厅走管复杂，净高极为受限区域重点把控，合理布置吊架及吊顶龙骨，保证净高需求。地下室藏品库房、走廊等重要空间节点，对吊架及吊顶进行精细化设计，确保空间净高能满足藏品运输。将土建+安装+室内装饰、标识+施工工艺等进行一体化精细设计。



#### 数字化手段辅助项目施工策划

项目基坑平均开挖深度 16.5 米，基坑北侧放坡上口线距离道路红线 2.7m；，施工总平布置难度大，无材料加工场地，无法形成环形道路。利用 BIM 技术模拟各阶段的施工工况，对施工场地进行布置模拟，对场内机械布置交通道路、材料堆场、物料加工区、施工机械等进行合理布置。减少二次搬运、提高机械使用率、实现高效施工。

项目采用二台 TC7526，均截臂至 65m。根据塔吊起重量特性表及构件位置关系综合确定塔吊定位。塔吊 7526 在 25 米能吊重 11.24 吨，该方案满足负二层预制柱吊装。塔吊 7526 截臂 65m，60 米范围内可吊重 4.12 吨，满足型钢结构吊运。

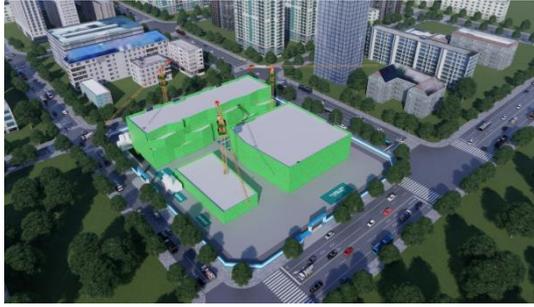


图 9 三维场地布置

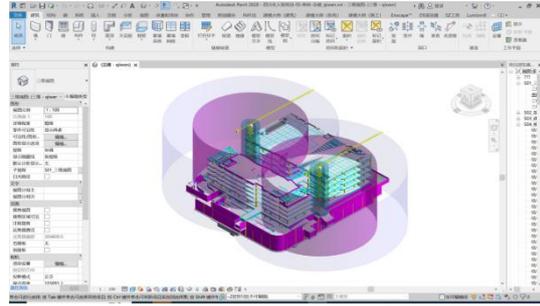


图 10 塔吊布置分析

进度计划的合理排布是项目按期完工的重要保障;项目通过多次的整体进度模拟分析,调整项目建设流水划分及施工计划,进行专项进度模拟;截止目前优化进度计划 3 个版本,优化工期 26 天。

采用智能监测系统对 16.5m 深超规模基坑进行实时动态监测、预警播报;实时了解基坑安全情况,避免安全事故的发生。



图 11 工期模拟优化

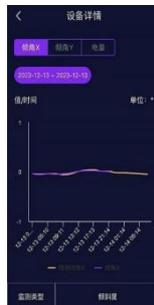


图 12 基坑智能监测

### BIM 协同平台

安全、质量问题追踪：项目安全、质量检查共计 586 余次，不同层级管理人员可根据权限对每次检查涉及的安全质量问题进行追踪、查看及处理，问题销项后 BIM 协同平台将自动存档。

BIM 协同平台+互联网取代传统管理系统的事后录入数据并控制管理的工作方式，对物资数据进行实时采集、实时上传，已完成物资信息纠错 8 次，有效地提高了企业的管理能力与水平。

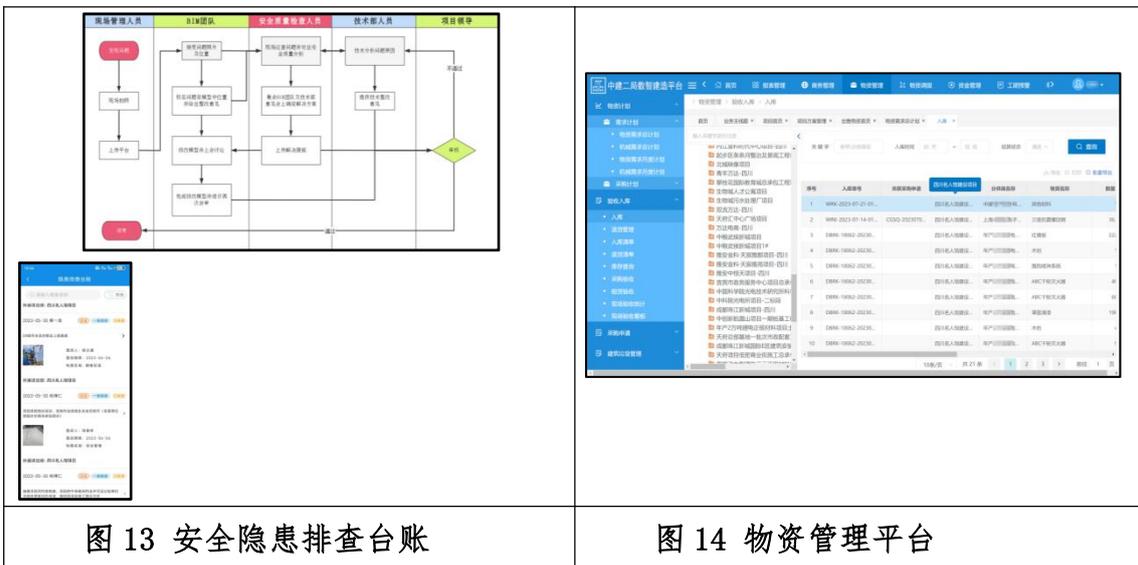


图 13 安全隐患排查台账

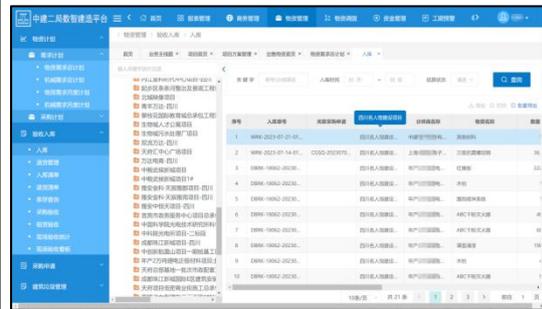


图 14 物资管理平台

### BIM+智慧工地

项目采用智慧工地系统，通过环境监测设备、实名制通道、塔吊吊钩监测、红外线感应语音等智慧工具，对施工现场的环境进行检查，实时反馈到项目管理人员手机上，管理人员可通过云端远程观测项目实时数据。



图 15 智慧工地系统

## 5. openBIM 应用效果总结

项目以数字化的思维，深入探索数字技术与建筑设计施工的融合。项目积极参与数字资源建设，通过全生命周期的数字化应用累计产生经济效益 532 万元，培养了数字化应用人才 10 人，发布核心期刊论文 8 篇、实用新型专利 3 部；获得业主单位、政府部门一致好评。

## 6. 专家热议

四川名人馆建设项目充分展示了 BIM 技术的综合应用优势。通过数字化手段实现了方案设计的创新、精细化施工和高效管理，有效解决了项目难点，为项目成功实施提供了坚实的技术支撑。

孙东旭 中国建筑第二工程局有限公司工程研究院主任

四川名人馆建设项目通过数字化手段，项目实现了精细化设计、高效施工和智能化管理，有效解决了地域特色、层高受限和施工场地狭窄等难点，为类似项目提供了宝贵的经验和借鉴。

张茅 中国建筑第二工程局有限公司西南分公司总工程师

# (6)桥影流转——利用 OpenBIM 实现钢结构桥梁的智能建造

## 1. 公司介绍

西华大学（简称西华，XiHua University）是一所四川省属重点综合性大学、国家“中西部高校基础能力建设工程”重点支持高校、教育部本科教学工作水平评估优秀高校、四川省“卓越工程师教育培养计划”高校、四川省首批“一流学科”建设高校。学校坐落于四川省成都市，拥有郫都、宜宾、彭州、人南、易三仓（泰国）五个校区，校园面积近 4000 亩，地理位置优越，环境优雅宜人。

建校 63 年来，学校始终坚持“立足四川，面向西部，辐射全国”的服务定位，秉持“求是、明德、卓越”的校训，传承“知难而进、自强不息”的办学精

神，秉承“育人为本、学术立校、人才强校、特色兴校、依法治校”的办学理念，主动适应国家和四川省经济社会发展需求，以内涵提升为核心，全面提高人才培养质量、科学研究水平和服务社会能力，积极拓展国际交流合作，大力推进文化传承创新，办学声誉卓著。培养了以中国工程院院士王华明、美国国家科学院院士任志锋、东方电气集团首席专家石清华、东方希望集团董事长刘永行等校友为代表的各类人才 30 余万名，已经成为四川省重要的人才培养基地。



图 1 校园环境



西华大学

图 2 西华大学校徽

西华大学获批 16 个国家一流专业建设点、4 个国家级特色专业，8 个专业通过工程教育专业认证，1 个国家级“专业综合改革试点”立项建设，拥有省级一流专业建设点 19 个，省级示范专业、特色专业、“卓越工程师教育培养计划”专业等 20 余个。获批教育部新工科项目、新农科项目、产学研协同育人项目 400 余个。该校还有 5 个专业通过中国工程教育专业认证。西华大学承担国家和省部级重点科研课题 900 余项，获批四川省青年科技创新研究团队 8 个、四川省自然科学基金创新研究群体 2 个、四川省哲学社会科学高水平研究团队 2 个，累计荣获部省级以上各类成果奖 60 余项，连续在国家重点研发计划、国家重大专项、国家自然科学基金重点项目、国家自然科学基金区域创新发展联合基金重点项目立项，四川省技术发明一等奖、四川省社会科学优秀成果一等奖奖励，高水平论文，千万级科技成果转化等方面实现新的突破。

## 2. 项目概况

### 2.1 项目背景

2018 年，“公园城市”理念在天府新区首提。2020 年，生态公园、森林绿道和景观地标的层出，让我们每个人都成为“公园城市先行区”的参与者和见证

人，在麓湖，一座桥便是一个“公园”。在城市的脉搏中，桥梁不仅是连接两岸的通道，更是城市文化的传承和生态和谐的象征，人们生活能否更加便利的市政基础设施项目，自始至终都是天府新区自然资源和规划建设局工作的重点。根据前瞻的设计理念打造出的成都麓湖生态城 Q7 桥（以下简称“Q7 桥”）应运而生。Q7 北步行桥工程，作为地方重点工程项目，是支撑生态城市公园，探寻人文艺术赋予麓湖独特魅力的基础设施，第 31 届成都世界大学生运动会皮划艇赛事的服务线也是支撑生态城市公园、探寻人文艺术赋予麓湖独特魅力的基础设施。

## 2.2 项目目标

Q7 桥将承载三种交通流线，分别为机动车道、人行与非机动车道、船行航道。机动车经过南侧主桥，北行进入水下隧道，从中间穿过花岛；非机动车和行人全程都在陆地上通行，路线经过景观桥，从两侧环抱花岛；船只则利用南侧桥下预留出的 6 米净高空间通行。桥梁立面设计呈南高北低，先以较平缓的纵坡延伸到水面，而后以较大的纵坡向下延伸约 100m 与下穿花岛及北侧湖底隧道相接，既方便桥下船只通行，又完美展现桥梁跨越湖面的动感姿态，达到了景观构想中车辆驶过桥后突然消失在湖面中心的魔幻效果。



图 3 Q7 桥效果图



图 4 Q7 桥交通流线图

## 2.3 项目规模

Q7 北步行桥工程位于成都市天府新区嘉州路既有隧道之上，是花岛与北侧地块之间的一座人行桥，跨麓湖，结构主要由桥梁及架空段组成，桥梁分为主桥、耳桥、花岛架空桥，此空间扭转结构的异形钢结构景观桥梁平面上基本与既有隧道重叠，部分墩柱及架空段以既有隧道为基础，改造总建筑面积 22000 m<sup>2</sup>，总投资约 3000 万元。周边地块均为住宅，桥南衔接下穿隧道，桥北衔接市政道路，

东西两侧为宽敞的湖面。项目自 2021 年 7 月开工，于 2022 年 11 月竣工完成。成都麓湖生态城是一座集 2100 亩湖域和 8000 多亩浅丘山麓生态资源于一体的新型城市片区。



图 5 桥梁爆炸图

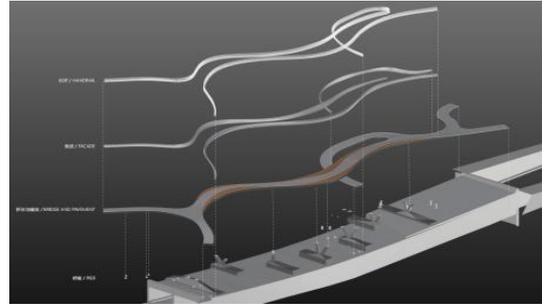


图 6 Q7 北部行桥

### 3. 项目难点

#### 3.1 团队协作和数据协同管理困难

在 Q7 北步行桥工程项目中，项目参与方在团队协作和数据协同管理方面面临诸多挑战。异型曲面钢结构的设计与施工涉及复杂的几何形状，各方使用的设计和施工软件在数据格式和兼容性上存在差异，导致信息传递不畅，形成“数据孤岛”现象。尤其在设计变更和实时数据共享过程中，工具不兼容和标准缺失使得施工方和设计方的协同工作效率降低，

- **跨部门沟通与协作：**异型曲面钢结构的复杂性使得各方的协同工作变得尤为重要。设计方依赖多个专业团队的协作，例如结构工程师、几何建模专家和施工规划团队。
- **数字模型的管理：**由于各方使用不同的设计工具（如 SketchUp、Rhino、AutoCAD、BIM 等），这些工具之间的格式差异往往导致数据传递不畅，信息不全或丢失现象频繁发生。
- **跨部门协作不畅：**由于 Q7 北步行桥位于既有隧道之上，结构设计需要与隧道的现有条件紧密结合，并涉及到市政、桥梁和景观设计等多个专业部门。不同团队之间的信息传递和协作缺乏统一的平台，导致沟通效率低下。

- **数据标准化不足：**各方使用的数据格式和工具不同，缺乏统一的标准，导致数据难以整合与共享。设计、施工和业主方无法实时查看同一数据来源，影响了数据的透明性和一致性。
  - **数据兼容性：**尤其在设计变更和实时数据共享过程中，工具不兼容和标准缺失使得施工方和设计方的协同工作效率降低，进而影响项目进度、质量控制和成本管理。在施工阶段，团队协作中的数据协同问题进一步凸显。
  - **施工技术的精度要求：**异型曲面钢结构的拼装对材料切割精度要求极高，任何细微误差都会在现场拼装时放大。这种信息的延迟或缺失，直接影响了施工方的精确度，特别是在桥梁的关键连接点，如与既有隧道基础的对接部位。
- 为解决这些问题，需通过 BIM 平台和 IFC 标准实现统一的数据管理和标准化的协作流程，以提高信息流动的效率、减少返工，并确保各方在复杂项目中的高效协作。促进设计方、施工方和业主方之间的实时数据共享与变更管理。实现无缝对接，提高信息传递的准确性和及时性，进而提升项目的协作效率。



图 7 软件生态图

### 3.2 复杂曲面设计的几何建模难度大

异型曲面的设计要求极高的精度和细节处理，由于其复杂的几何形状，传统的设计工具难以胜任。曲面结构往往具有不规则性，无法使用标准化的钢结构组件进行建模和设计，这对设计团队提出了更高的要求。

- **不规则曲面生成与控制：**复杂曲面需要精确控制其每个节点和曲率变化，尤其在桥梁结构中，这类曲面必须符合结构力学要求。使用软件如 Rhino、Revit 等进行三维建模时，精确控制曲面形态以及结构合理性是一大难题。
- **数据兼容性问题：**不同设计工具如 BIM、AutoCAD、Revit、SketchUp 等，在

处理复杂几何形状时存在数据格式和模型转换的兼容性问题，容易导致几何信息丢失或变形，增加了数据流转中的复杂性。

- **设计与施工的联动：**复杂曲面结构不仅在设计阶段难以完成精确的几何建模，还需要在施工阶段保持高度一致。模型在施工中难以直接应用，尤其是异形钢结构的拼装和精度控制，这需要设计和施工团队实时协作，确保每个节点的准确性。

解决几何建模难题的关键在于，使用先进的三维建模工具并结合 BIM 平台和标准，通过标准化的数据管理和协同工具，实现各方在复杂几何形态上的一致性。同时，进行曲面展开分析和有限元计算可以确保曲面结构的施工可行性，减少设计和施工间的偏差。

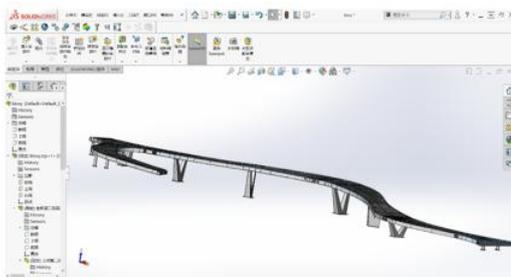


图 8 Solidworks 全桥模型

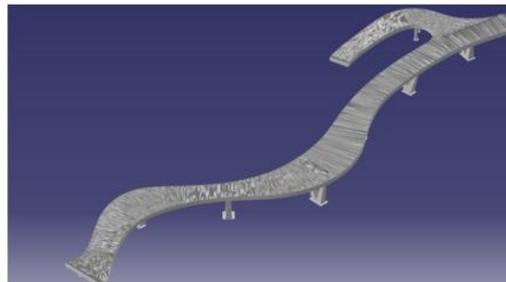


图 9 CATIA 全桥模型

### 3.3 结构设计与有限元曲面曲率分析困难

在 Q7 北步行桥工程中，异型钢结构设计面临着结构设计与有限元分析的双重挑战，尤其是涉及复杂曲面结构的曲率分析。曲面钢结构的几何形状复杂，传统的设计和分析方法难以应对其非线性和空间扭转结构的特殊性。

- **几何不规则性：**异型钢结构的曲面往往不规则，无法采用标准的设计方法。设计师需要通过复杂的三维建模工具（如 Rhino、Grasshopper 或 Revit）来精确控制曲面形态和几何参数。然而，这类工具虽然能够生成复杂的几何形状，但难以直接应用于结构设计，需要与力学分析工具配合才能验证设计的可行性。
- **非线性结构行为：**曲面钢结构由于其几何复杂性，具有明显的非线性力学行为。在荷载作用下，曲面结构的应力分布和变形模式与传统结构有较大差异，增加了设计复杂性。设计过程中需要反复优化和验证，以确保结构在各种工况下的稳定性和安全性。

- **曲率分析的精度要求：**在复杂曲面结构中，曲率是决定应力分布和受力性能的关键参数。由于曲面曲率变化复杂，有限元分析需要极高的计算精度，特别是在高曲率区域，容易出现应力集中或材料屈服的问题。曲面的每个节点必须精确建模，任何微小误差都可能导致曲率分析的结果不准确。
- **边界条件与荷载应用的复杂性：**异形曲面结构的非线性特性使得在进行有限元分析时，正确设置边界条件和荷载成为一大难题。结构的支撑方式、材料非线性行为以及动态荷载的作用都会显著影响分析结果。
- **设计与施工偏差的管理：**曲面结构设计施工通常存在较大误差，设计阶段的精细曲率分析需要在施工中实现高精度控制。特别是在曲面展开和材料切割中，任何精度不足都会导致施工无法与设计一致。
- **施工工艺模拟与验证：**在设计阶段，有限元分析的结果需要与施工工艺相结合，确保设计方案在实际施工中可行。复杂曲面结构在施工过程中容易出现误差，尤其是曲率变化大的区域，必须通过分析提前发现潜在问题，并优化施工流程。

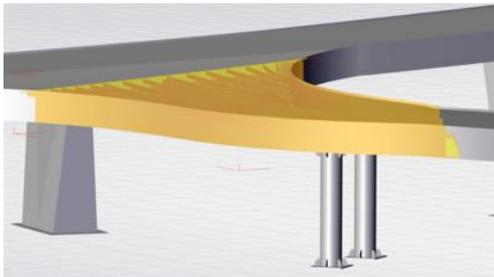


图 10 空间扭曲结构

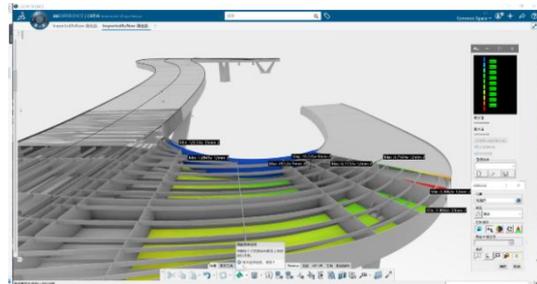


图 11 曲面曲率分析

### 3.4 异型钢结构设计施工一体化难度大

从设计施工一体化的角度来看，异型钢结构的項目面临独特的挑战，尤其在像 Q7 北步行桥这种复杂的异型钢结构桥梁项目中，设计与施工的高度整合对项目的成功至关重要。设计施工一体化的核心思想是将设计和施工环节紧密结合，通过信息的无缝流动和协同工作，最大化减少各阶段之间的脱节，确保项目的质量、进度和成本控制。

- **设计与施工的高度协同：**异型钢结构的复杂几何形态使得设计不仅要考虑建筑美观性，还必须确保结构安全性和施工可行性。设计团队在生成曲面和空

间扭转结构时，需要与施工团队紧密协作，以确保设计方案能够在施工中被精确实现。

- **信息流通的及时性与准确性：**在异型钢结构项目中，设计和施工往往需要同时进行，因此设计变更必须迅速传递给施工方，反之亦然。然而，使用不同软件平台（如 BIM、Revit、AutoCAD、SketchUp 等）的团队之间经常面临数据交换的困难，导致设计变更无法及时传达，进而影响施工进度。
- **标准化的数据平台不足：**由于异型结构的特殊性，各类设计工具之间缺乏标准化的数据交换格式，造成了信息孤岛。设计施工一体化的目标是通过统一的数据管理平台（如 BIM），实现信息在设计、施工和监理各方之间的无缝传递，从而确保信息透明，减少误解和信息滞后。
- **确的成本控制与进度管理：**异型钢结构项目的设计复杂性和施工难度直接影响成本和进度。如果设计与施工脱节，容易导致不可预见的成本增加和时间延误。通过设计施工一体化，项目团队能够在设计阶段提前分析可能的施工挑战，优化施工计划，降低风险，控制成本。
- **定制化构件的生产管理：**异型钢结构的构件往往需要定制化生产，精度要求极高。在设计施工一体化的框架下，设计师与施工团队共同制定精确的制造和安装计划，确保构件的生产符合设计要求，并在现场能够顺利拼装。通过提前规划和精准的施工计划，减少生产与施工的不确定性。

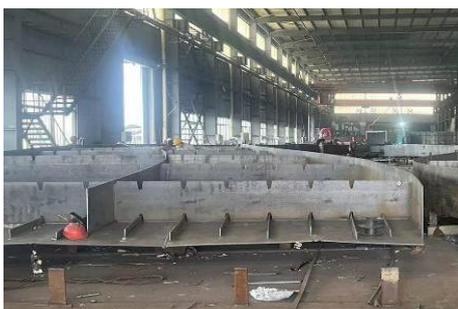


图 12 钢结构加工现场



图 13 桥梁施工现场

#### 4. Open BIM 的典型应用

针对基础设施行业数字化技术应用程度低的难题，项目依托第 31 届成都世界大学生运动会的配套工程 Q7 北步行桥，采用**数字孪生**技术，在智慧化（智慧

城市)、可持续化(可持续技术应用)、“科技+人文”理念为核心的整体规划下,对城市基础设施、公共服务和资源进行智能化管理和优化,提升城市的可持续性、生活质量和经济效益。基于 open BIM 标准, Common Data Environment 共享项目环境,用于存储和交换所有项目信息实现协同设计,对异形钢结构桥梁对象进行 IFC 扩展定义,利用 BIM+GIS 技术,实现异形桥梁的全生命周期管理,包括设计、施工、运维等各个阶段,建立桥梁应急疏散 MVD,针对桥梁设计各参数类型建立相应的 IDM。借鉴制造业的先进理念和技术,创新性地将基于模型的系统工程(MBSE)应用于市政建设,开展异形钢结构桥梁的数字化建模、智能建造和仿真应用,研究全面提高工程设计和施工质量的方法,探索制造业和建筑业融合的发展模式,提升基础设施的数字化转型,为实现数字交通和数字中国做出贡献。

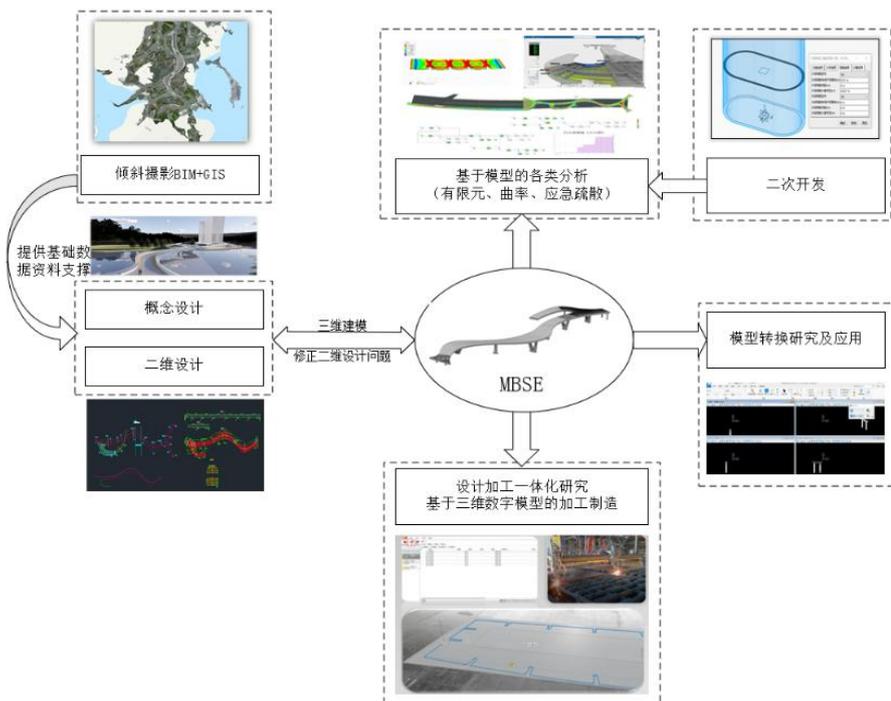


图 14 《异形曲面钢结构桥梁设计加工一体化》总技术路线图

#### 4.1 基于模型的深化设计

基于景观模型和二维图纸,采用 3DE 平台和骨架驱动理念创建参数化的空间扭转异形钢结构景观桥梁 BIM 模型,实现基于模型的深化设计,模型深化设计路线图如图所示。

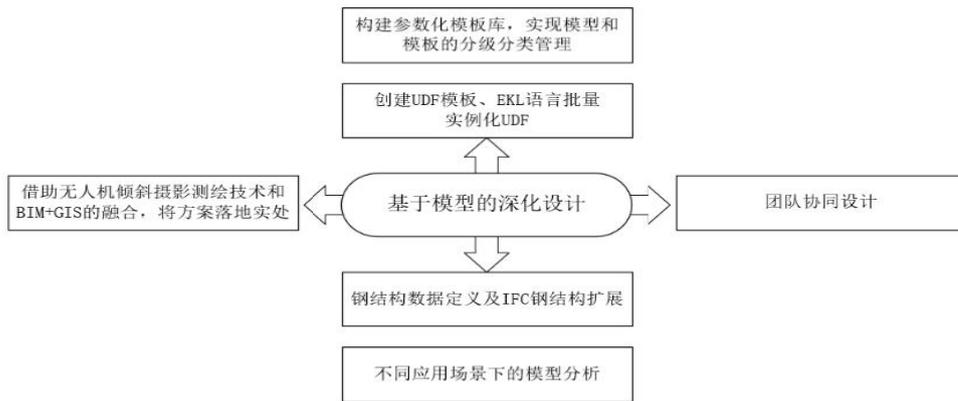


图 15 模型深化流程图

#### 4.1.1 团队协同设计—ENOVIA 协同与数据管理

采用 ENOVIA 实现基于 3D 数据的实时的设计协同交互与信息传递。通过 ENOVIA 建立账户，实现团队人员间的协同制作，并可在系统中进行变更操作的生命周期定义，从而形成变更操作解决的过程自动化管理。利用 3DE 平台强大的融合能力，将 ENOVIA 与一系列 CAD 工具融合，实现全过程的 3D 交互与信息传递，让团队任务分工人员可在 PC、平板的网页中浏览产品结构树以及模型，无需安装重客户端，随时可查，可方便、灵活地在 Web 端浏览 BOM、CAD 结构、CAD 几何图形，最终实现团队间信息传递、信息可视化、协同合作。

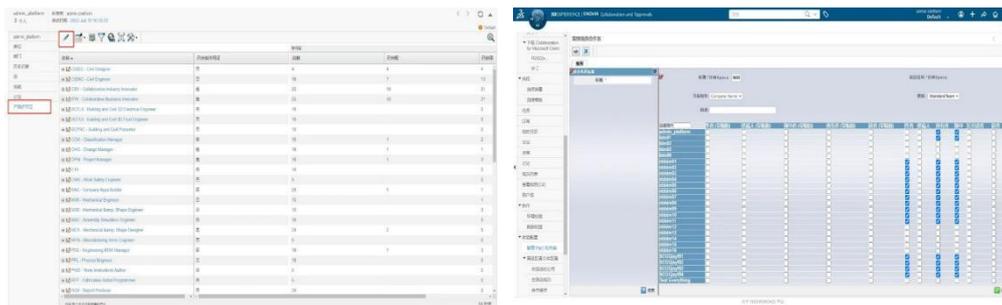


图 16 ENOVIA 协同与数据管理

#### 4.1.2 钢结构数据定义及 IFC 钢结构扩展

本项目对 IFC 标准进行了扩展，定义了复杂异形钢结构的自定义实体（如 SteelColumn、SteelBeam），从而支持基于 BIM 的协同设计和数据管理。通过对 IFC 的扩展，设计师能够在 3DE 平台上进行三维建模，并通过扩展的 IFC 标准管理钢结构的设计、制造与施工数据，确保数据的一致性和准确性。钢结构建筑中

的异形构件（如双曲面、扭转梁）在传统 IFC 模型中难以准确表达，扩展的 IFC 标准通过引入曲面几何和自定义参数化构件，增强了对异形钢结构的支持。在钢结构的制造中，数控加工和自动套料是提高效率的重要手段。IFC 扩展能够包含数控加工所需的几何信息、切割路径以及套料方案，直接用于自动化的钢材切割与加工。IFC 标准及其扩展在异型钢结构设计中的应用，特别是针对复杂钢结构如 SteelColumn、SteelBeam 等自定义实体的拓展应用。

- SteelElement 实体继承自 IFC2X3. IfcElement，并包含 ElementType、Material、PredefinedType、AssemblyPlace、AssemblyOrder、StructuralMemberType、FabricationMethod、StructuralParameters、IsExternal、ReferenceType、Reference、ContainedInStructure、ContainedInSteelAssembly、HasCoverings 和 HasAssignments 属性。
- Connection 实体继承自 IFC2X3. IfcDistributionElement，并包含 ConnectionType、ConnectionLocation、Material、ConnectedTo 和 HasAssignments 属性。
- SteelAssembly 实体继承自 IFC2X3. IfcProduct，并包含 AssemblySequence、InstallationMethod、AssemblyLocation、AssemblyConstraints 和 HasAssignments 属性。

```
HEADER;  
FILE_DESCRIPTION(('IFC Extension for Steel Structure Processing'), '2;1');  
FILE_NAME('SteelStructureExtension.ifc', '2023-06-05T00:00:00', (''), (''), 'IFC2X3');  
FILE_SCHEMA(('IFC2X3', 'STEEL_STRUCTURE_EXTENSION'));  
  
-- Definition of the extension schema  
SCHEMA STEEL_STRUCTURE_EXTENSION (  
  SUBTYPE OF (IFC2X3);  
  ENTITY SteelElement;  
  ENTITY Connection;  
  ENTITY SteelAssembly;  
);  
  
-- Definition of the custom entities
```

图 17 IFC 扩展代码

在上述代码中，定义了一个名为"SteelStructureExtension.ifc"的 IFC 扩展文件，该文件基于 IFC2X3 标准，并包含了钢结构加工的自定义实体：SteelElement、Connection 和 SteelAssembly。

这些自定义实体在 STEEL\_STRUCTURE\_EXTENSION 模式下进行定义，并与 IFC2X3 进行关联，以创建钢结构加工的 IFC 扩展定义。可通过如下内容扩展钢结构 IFC，定义新的实体类型，可以通过定义新的实体类型来扩展 IFC，以表示钢结构的特定属性和关系。例如，可以定义新的实体类型如"SteelColumn"、"SteelBeam"等，以表示钢柱和钢梁。

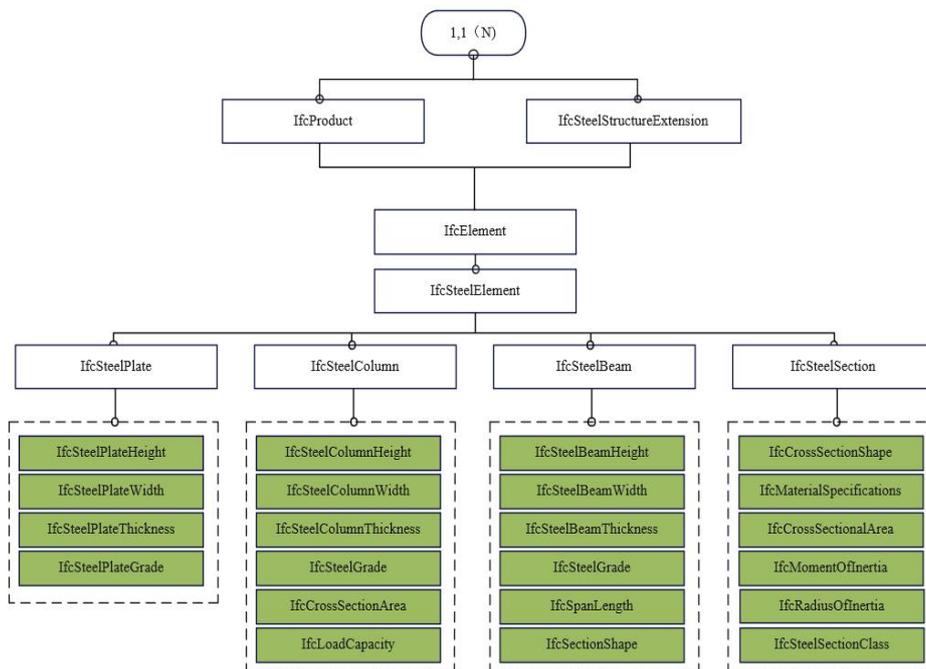


图 18 钢结构扩展的 EXPRESS-G 图表示

- SteelColumn: 新实体类型表示钢柱，可以包含属性如高度、宽度、厚度、钢材牌号等。
- SteelBeam: 新实体类型表示钢梁，可以包含属性如长度、宽度、高度、钢材牌号等。
- SteelConnection: 新实体类型表示钢结构的连接件，可以包含属性如连接类型、连接强度等。

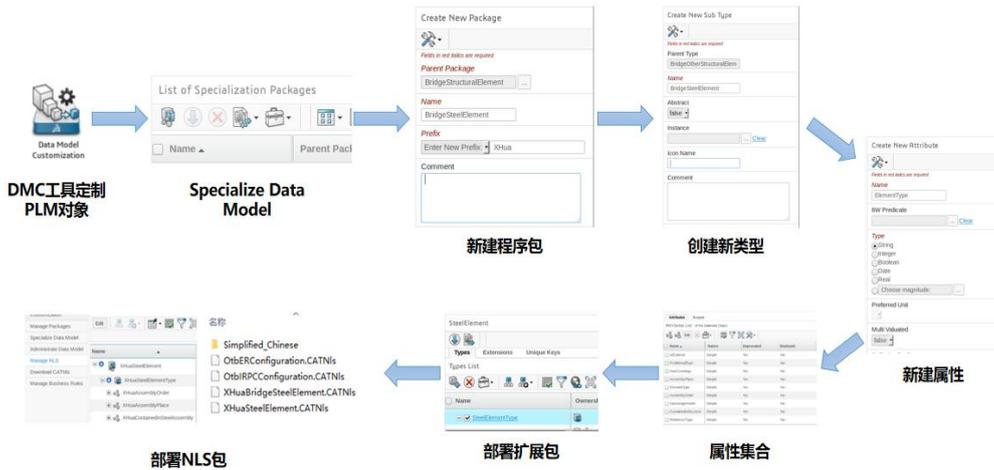


图 19 扩展 3DE 平台 IFC 对象

新建西华大学桥梁钢结构单元

ENTITY SteelElement SUBTYPE OF (IFC2X3.IfcElement);  
 ElementType : IfcLabel;  
 Material : IfcMaterialSelect;  
 PredefinedType : OPTIONAL IfcLabel;  
 AssemblyPlace : OPTIONAL IfcLabel;  
 AssemblyOrder : OPTIONAL IfcInteger;  
 StructuralMemberType : OPTIONAL IfcLabel;  
 FabricationMethod : OPTIONAL IfcLabel;  
 StructuralParameters : OPTIONAL IfcStructuralLoad;  
 IsExternal : OPTIONAL BOOLEAN;  
 ReferenceType : OPTIONAL IfcLabel;  
 Reference : OPTIONAL IfcText;  
 ContainedInStructure : OPTIONAL SET [1..?] OF IfcRelContainedInSpatialStructure;  
 ContainedInSteelAssembly : OPTIONAL SET [1..?] OF IfcRelContainedInAssembly;  
 HasCoverings : OPTIONAL SET [1..?] OF IfcRelCoversBldgElements;  
 HasAssignments : OPTIONAL SET [1..?] OF IfcRelAssigns;  
 END\_ENTITY;

桥梁钢结构单元IFC定义

Open IFC Viewer模型

桥梁钢结构单元属性

3DE模型

图 20 桥梁钢结构单元 IFC 定义

#### 4.1.3 构建参数化模板库，实现模型和模板的分级分类管理

- 目录 (Catalog)
- 子目录
- 章节 (Chapter)
- 子章节

● 模型和模板的分级分类管理

图 21 模型和模板的分级分类管理

#### 4.1.4 创建 UDF 模板、EKL 语言批量实例化 UDF

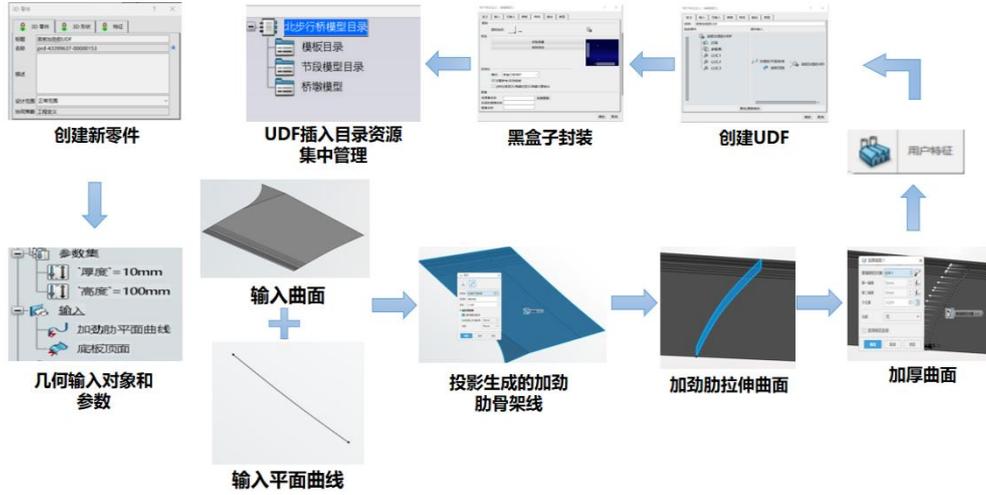


图 22 创建 UDF 及实例化

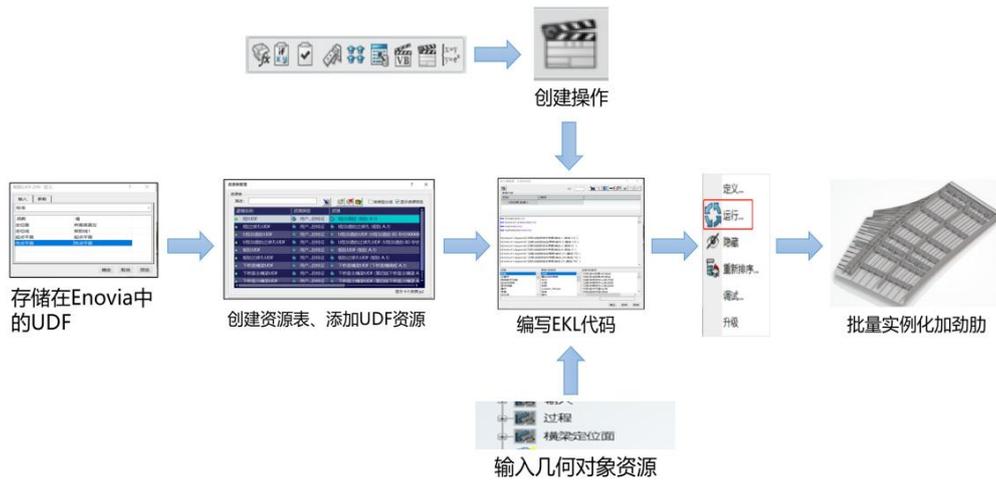


图 23 EKL 批量实例化 UDF

#### 4.1.5 以骨架驱动的理念进行参数化建模

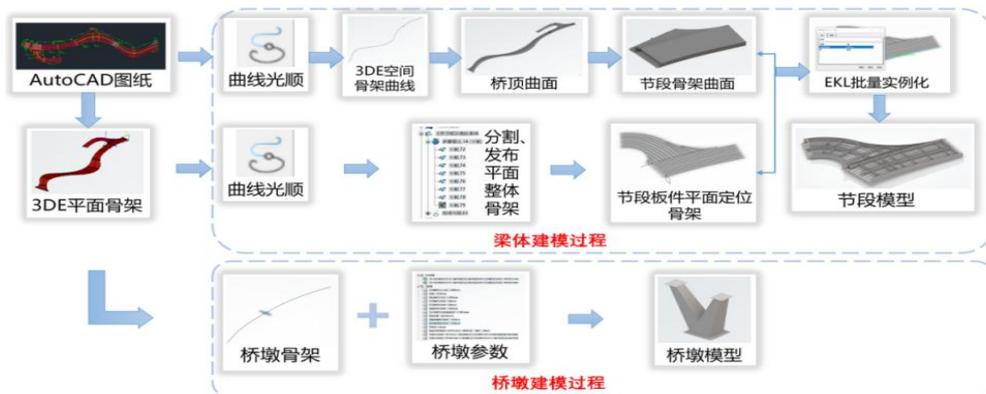


图 24 骨架驱动参数化建模

#### 4.1.6 有限元曲面曲率分析

基于模型的空间扭曲结构——以耳桥第一段为例。当代的曲面运用主要是为了打破直线与环境的分裂，通过柔和的曲线来过渡空间。这是对于曲面流动性优势的发挥，但在实际施工过程中会出现梁体空间扭转造成的墩顶标高变化。故可通过 3DE 平台的 Generative Shape Design 模块分析评估曲面的曲率。通过有限元软件对典型受力单元建模，赋予截面材料，定义接触条件，施加荷载，最终得到仿真结果。



图 25 CAD 二维图纸

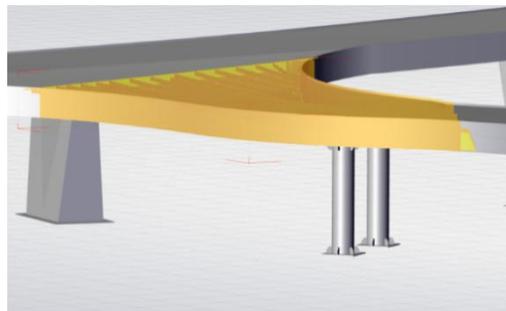


图 26 空间扭转结构

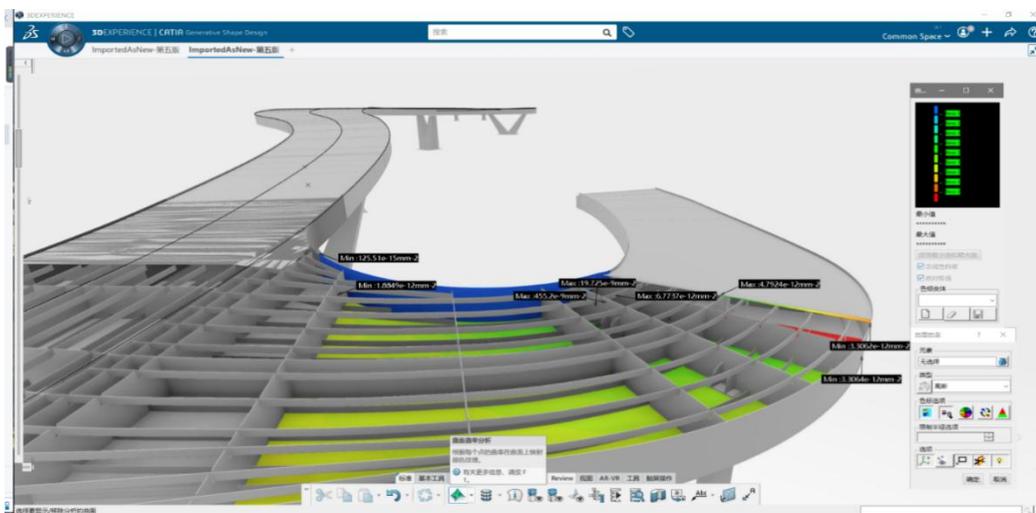


图 27 有限元曲面曲率分析

#### 4.1.7 精细化设计分析

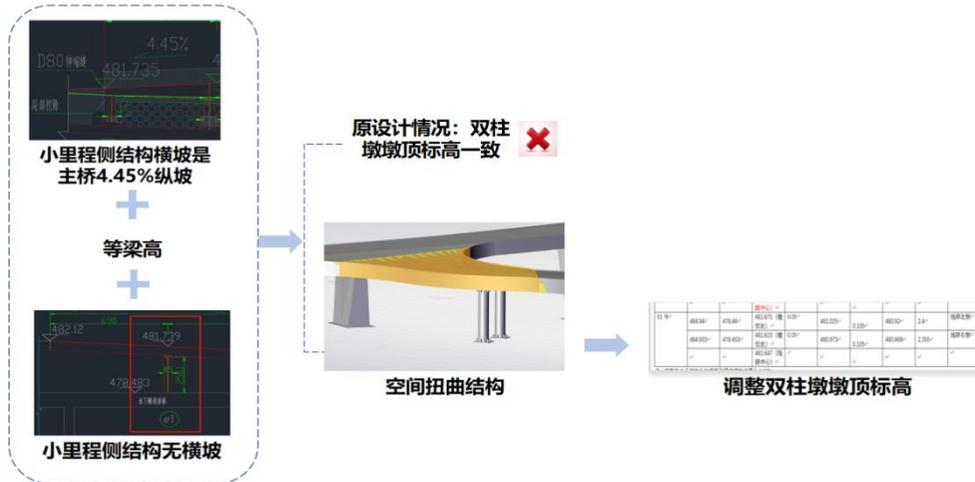


图 28 二维设计的错误—梁体空间扭转造成的墩顶标高变化

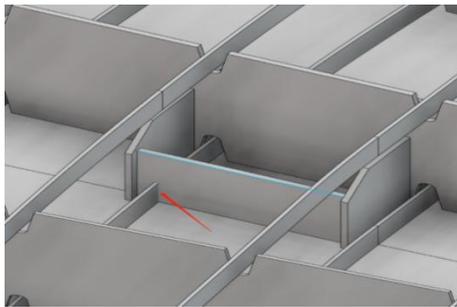


图 29 过焊孔缺失

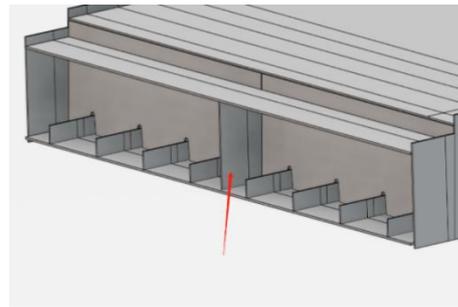


图 30 增加纵向支撑板

#### 4.2 基于模型的加工一体化

基于 BIM 模型开展制造加工一体化，具体包括：设备参数配置、添加材料、添加零件、排料、NC 代码输出和数控加工等，进而实现加工一体化的目标，深加工过程如图 2 所示。因此围绕三维模型输入的 NC 代码进行工艺刀路的分析模拟输入到生成数控加工程序，进入数控加工设备，查看产生真实的一个零件的过程，基于 COMPOSER 创建了三维 PDF 技术交底书，钢结构数字化加工流程如图 3 所示。在建模完成后，将用于分析的功能模型输入到 ABAQUS 软件进行有限元分析确保了桥梁承载能力。通过 3DE 平台的 Generative Shape Design 模块分析评估曲面的曲率。基于 AnyLogic 软件建立了行人流量分析逻辑模型，为突发事件下的应急管理做了技术储备。通过对节段重量和吊装重心分析促进了施工安全等。

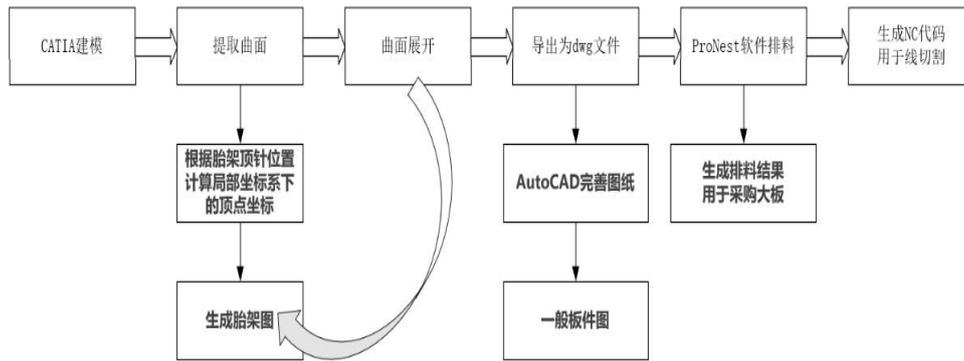


图 31 模型加工一体化技术图

#### 4.2.1 钢结构数字化加工



图 32 三维建模

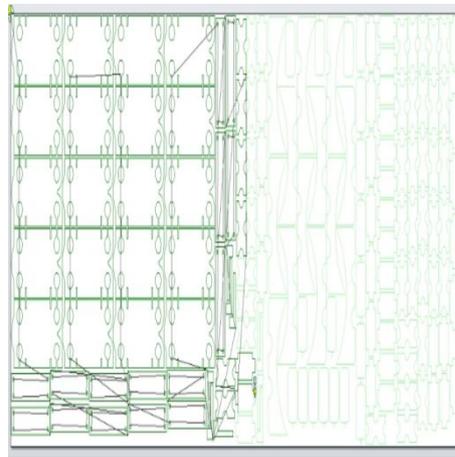


图 33 切割模拟

```
G02X-69.8499Y-75.9395I-76.2049J-0.
G01Y-13.209
G02X69.5957Y-75.9455I-6.482J-75.8013
G01X0.0002Y-76.2004
X-69.5959
Y38.6076
G03X-44.4499Y37.5924I-6.3373J37.582
X31.496Y-37.5918I38.133J-0.0408
G01Y-38.6082
X-69.5959
Y44.4499
X-12.7
Y-44.4499
X-317.7533
Y44.4499
X-12.7
Y-44.4499
X-69.8499
Y38.6068
G03X31.7499Y37.5923I-6.3627J37.5778
X-44.1959Y-37.5918I-38.0923J0.0083
G01X4.9354Y-0.8012
M20
G40
N2
G00X-4.9354Y-316.702
(Seq 2 - Vic)
G41K2.
F2500
M21
G01Y-10.
```

图 34 输出 NC 代码



图 35 现场数控加工

#### 4.2.2 ProNest 套料

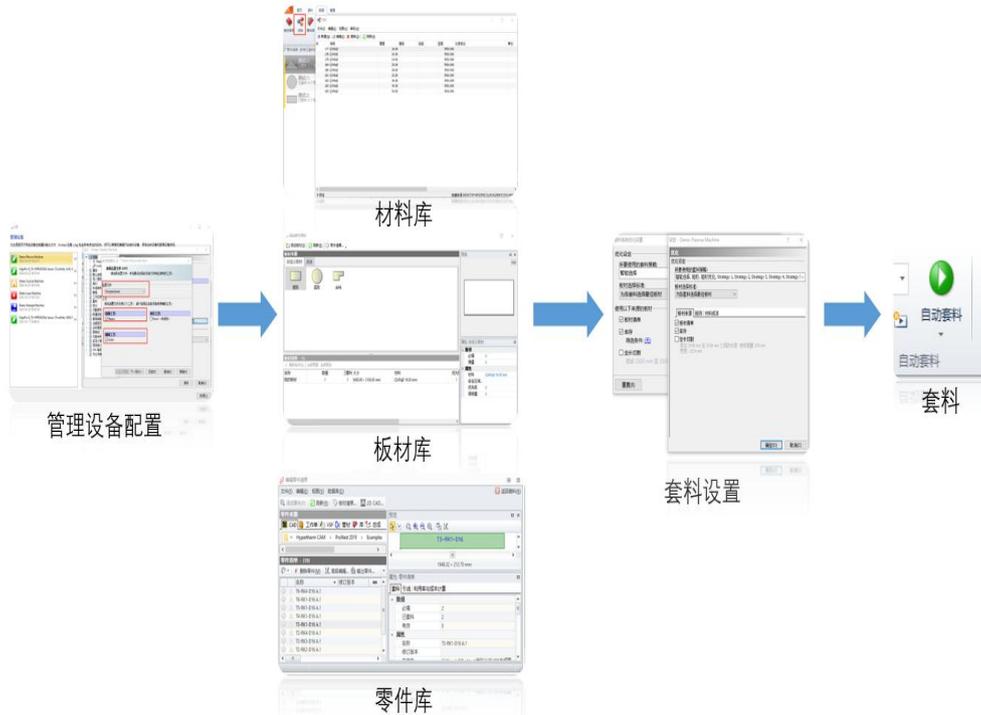


图 36 ProNest 套料



图 37 3D-PDF 技术交底书

#### 4.3 基于模型二次开发及应用

在完整全桥 BIM 模型的基础上，做了有关模型的二次开发和应用、数据转换的相关工作，将现有成果推广及应用到类似相关项目上，并取得成效。为实现建模分析一体化的目标，采用 CAA 语言对 3DE 平台二次开发，应用工厂模式和扩展特征技术定义梁、杆、质量、几何特征、材料特征、约束、荷载、荷载工况等有限元要素，基于机械特征机理离散 BIM 模型，并建立 BIM 模型、有限元要素间的关联更新机制，采用 COM 技术封装程序，进而实现静动力分析和规范检算，有限元分析孪生模型整体技术路线如图所示。

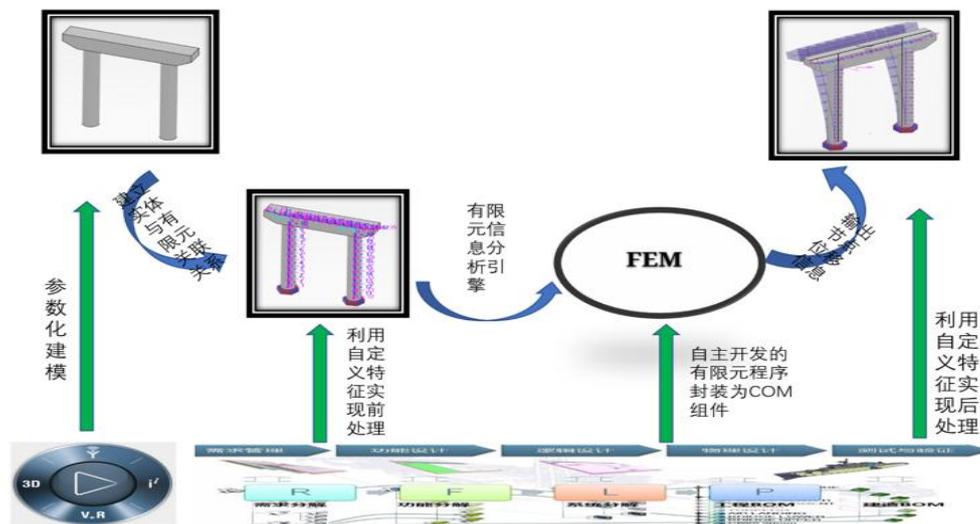


图 38 有限元分析孪生模型整体技术路线

##### 4.3.1 建模分析一体化

利用自定义规则将三维模型离散为梁、杆、质量等有限元模型，并与之保持关联关系：

- 有限元模型可随三维模型参变
- 自动组成和更新单元、整体刚度（质量）矩阵
- 约束、自由度耦合…
- 荷载、荷载工况…
- 静力分析、模态分析、抗震分析…



图 39 建模分析一体化

#### 4.3.2 基于模型的分析开发和模型转换研究 (CATIA→MicroStation)

允许应力法钢筋混凝土任意截面计算: 创建截面计算自定义机械特征, 利用机械建模器的机制, 建立实体构件、平面对象、力学和钢筋参数、截面计算对象间的父子级关系及更新机制。



图 40 允许应力法钢筋混凝土任意截面计算

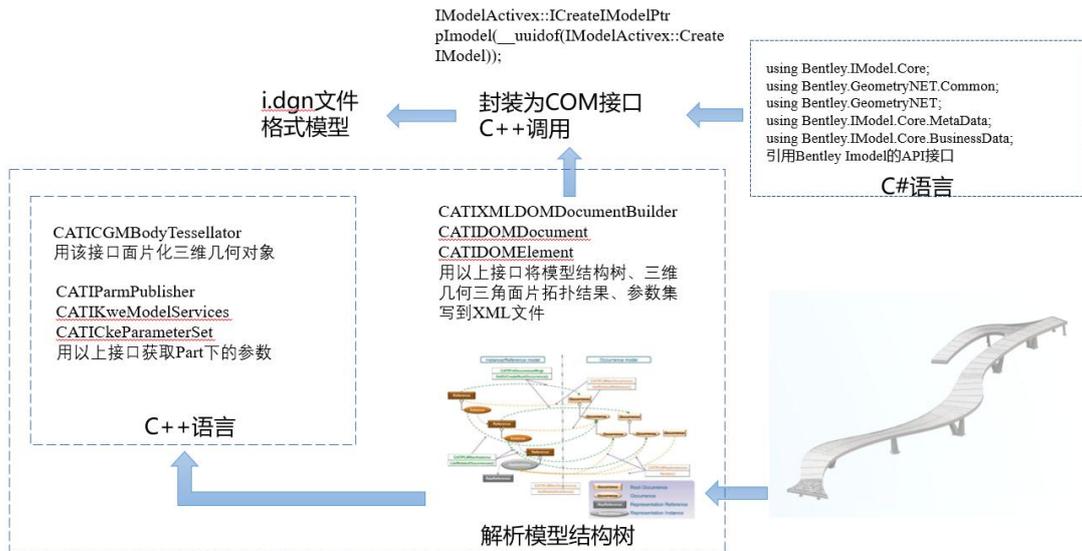


图 41 模型转换研究

## 5. 5. openBIM 应用效果总结

### 5.1. BIM 技术在异形钢结构桥梁设计与施工中的应用

评估新材料、构造形式和连接方式的可行性，包括可获得性、性能特点和成本等方面的考虑。考虑 BIM 全生命周期技术的可行性，从建模和协同设计到碰撞检测和施工仿真等方面评估 BIM 软件和工具的适用性、数据互通性、协同性等内容，确保能满足异形桥梁设计和施工的需求。

#### 5.1.1 建模和设计阶段：

- **异形桥梁的几何建模：**通过 BIM 软件进行几何建模，精确地呈现异形桥梁的形状、尺寸和几何特征。
- **结构分析和仿真：**利用 BIM 软件进行结构分析和仿真，评估桥梁的荷载响应、强度和稳定性等，并进行优化设计。
- **碰撞检测：**使用 BIM 模型进行碰撞检测，确保异形钢结构桥梁与其他构件（如管线、设备等）之间没有冲突，减少设计错误。

#### 5.1.2 施工阶段：

- **施工计划和虚拟现场仿真：**利用 BIM 模型进行施工进度计划和虚拟现场仿真，预测施工过程中的冲突和协调问题，优化施工顺序和资源利用。
- **施工工艺模拟和机器人控制：**通过 BIM 模型导入 ProNest 套料软件中模拟施工工艺，刀路切割，验证施工方案的可行性，并结合机器人控制技术

术实现自动化施工，提高施工效率和质量。

- **施工与质量控制：**利用 BIM 模型进行实时施工监测与质量控制，跟踪施工进度、材料消耗和质量问题，及时发现并解决施工偏差和质量缺陷。
- **应急处置控制：**将模型转换为 dae 格式导入到 AnyLogic 软件，基于社会力模型，建立了行人流量分析逻辑模型，为突发事件下的应急管理做了技术储备。

## 5.2 异形钢结构桥梁项目的实施

- **BIM 技术的应用可实现模型协同和可视化：**BIM 技术可以将设计、施工和运维阶段的数据整合到一个统一的模型中，促进不同团队之间的协同工作。团队成员可以实时查看和编辑模型，减少信息传递的误差和延迟。
- **工序优化和预测：**通过利用 BIM 模型进行施工工艺模拟和进度计划预测，可以帮助优化施工工序，提前发现可能的冲突和瓶颈。这有助于提高施工效率，减少施工时间和成本，并提高项目的安全性和质量。
- **资源管理和优化：**BIM 技术可以提供对施工资源（人力、设备、材料等）的实时监测和管理。通过对模型和数据的分析，可以优化资源的调度和利用，确保资源的适时供应，避免浪费和短缺，降低项目成本。
- **施工监测和质量控制：**借助 BIM 模型的实时施工监测功能，可以对施工进度、施工质量和材料使用进行监测和控制。通过与传感器数据的集成，可以及时发现施工偏差、质量缺陷和安全风险，提前采取措施进行调整和纠正。

通过综合考虑上述因素，BIM 技术的应用可以提高异形钢结构桥梁项目的实施可行性。它可以提高项目的效率和质量，降低成本和风险，并为项目的顺利实施和运营提供全面支持。

## 5.3 应用前景效果

### 5.3.1 模式介绍

团队利用技术优势，作为技术衔接方，衔接上下游客户，了解供应链上下游的技术需求和能力，并通过提供支持和解决问题的方式，保证技术的顺畅衔接。商业模式架构如图 11 所示。

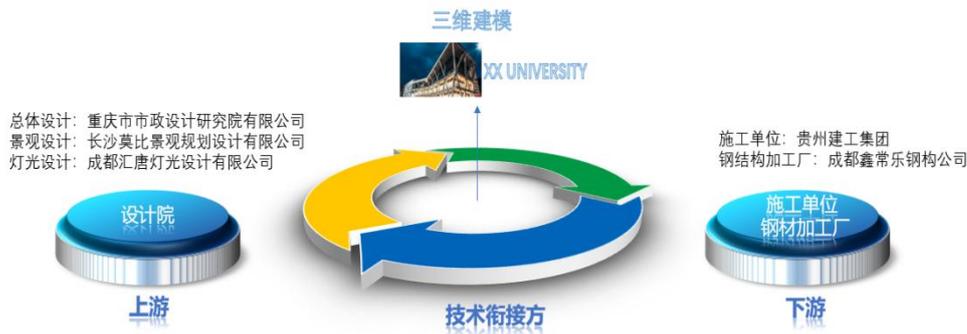


图 42 模式结构图

### 5.3.2 预期效果

结合目前的城市化进程和基础设施建设的需求，通过将设计和制造过程紧密结合，模型设计和图纸设计校对归档，将二维、三维成果统一交付下游单位可以减少不必要的成本和浪费。从现有桥梁钢结构行业的市场规模情况来看增速显著。

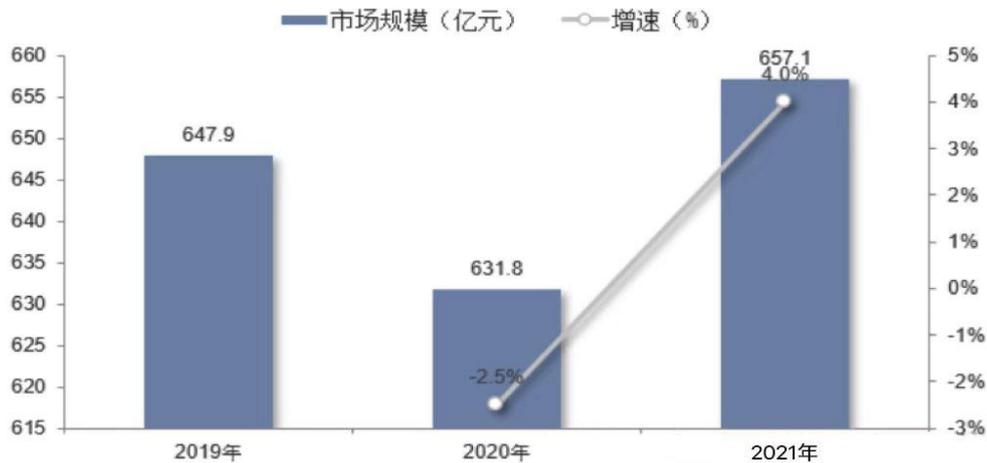


图 43 桥梁钢结构行业市场规模情况图

### 5.3.3 推广应用

目前的城市化进程和基础设施建设的需求，类似于此项目类型是支撑生态城市公园，探寻人文艺术赋予智慧城市建设独特魅力的基础设施。钢结构桥梁在可持续发展、抗震性能和施工效率等方面具有明显的优势。在大型城市或交通枢纽、智慧城市建设有大量钢结构桥梁的建设需求。以 BIM 技术为基础的建筑信息模型以其能够提高设计和施工的精确性、效率和安全性在桥梁建设中的应用前景广阔。该项目具备技术上的可行性和市场上的需求性（应用成果推广已成功运用于武汉光谷轻轨斜拉桥建设，并已建成通车以及罗龙江大桥的建设）。在未来，我们可以期待更多的虚拟建造技术应用在桥梁设计中，创造更多令人惊叹的桥梁作品。

- **罗龙江大桥**：罗龙江桥梁是内江至南溪高速公路及 S547 跨越长江的共用过江通道，主桥采用净跨径 585m 的中承式钢箱提篮拱桥，净矢跨比 1/5，拱轴线采用悬链线 ( $m=1.5$ )，桥面系长 675m，建成后将是世界最大跨度的双层钢箱拱桥。拱肋采用等宽变高截面，箱宽 5m，拱顶高 8m、拱脚高 14m，高度按 1.5 次抛物线变化。桥道梁采用双层三角形桁架，节间长度均为 15m，桥面采用纵横梁体系；中间区段每个节间设置一个吊点，每个吊点设置纵向双吊杆；端部区段采用大跨度布置，简化构造。

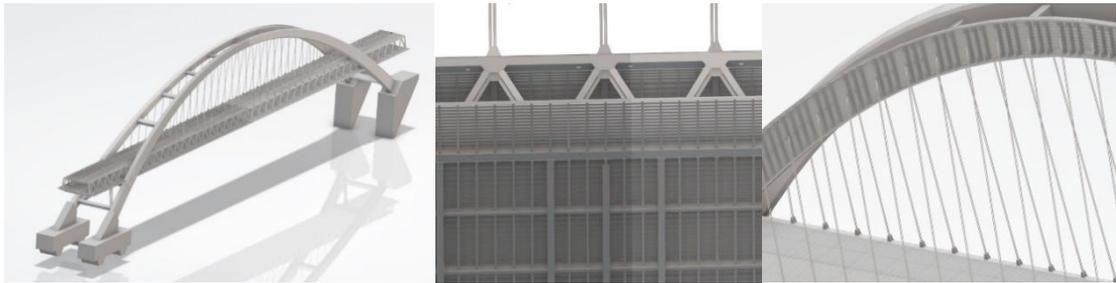


图 44 罗龙江大桥

- **武汉光谷斜拉桥**：光谷生态大走廊空中轨道一期工程线路全长约 10.5km，设站 6 座，全高架敷设，线路起于光谷四路森林动物园附近，经由光谷四路、豹子溪公园、综保区、止于龙泉山。拟建桥梁为空中廊道配套斜拉桥。



图 45 武汉光谷斜拉桥

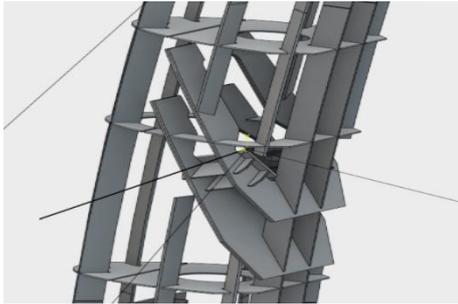


图 46 三维钢结构节点



图 47 钢结构施工现场

## 6. 专家热议

BIM 技术在建筑行业的规划、勘察、设计、施工和运维全过程的集成应用，实现建设项目全生命周期、全产业链、各参与方数据共享和信息化管理，正是推进建筑行业向工业化、数字化、智能化、绿色化转型升级，形成企业核心竞争力的重要基础。

朱明 四川省交通勘察设计研究院有限公司、总工程师  
重展示、轻数据；重标准、轻场景；重技术、轻应用。BIM 和 GIS 是 CIM 的底层架构，目前 GIS 基础数据基本完备，而 BIM 基础数据相差甚远。只有与具体管理、场景应用结合起来才会发挥价值。

卢文龙 中国铁道科学研究院电子所工程系统部、副总经理

## (7) 国家会议中心二期项目配套部分 B24 地块（酒店综合楼）

### 1. 公司介绍

中国建筑第二工程局有限公司组建于 1952 年，总部设在北京，注册资本 100 亿元，是世界 500 强企业——中国建筑股份有限公司的全资子公司。公司年合同额超 4000 亿元，年营业收入超 2000 亿元，金融机构授信总额超 2500 亿元，主体信用评级 AAA 级，是集投资、建造、运营一体化的国有大型建筑企业集团。

公司拥有建筑工程施工总承包、市政公用工程施工总承包等 7 项特级资质，以及地基与基础工程、建筑装修装饰工程、钢结构工程、桥梁工程、公路路基工

程专业承包壹级，建筑行业（建筑工程）设计甲级等各类资质共 216 项，具备建筑行业强大的全产业链、全生产要素、全过程的经营管理能力。

## 2. 项目概况

国家会议中心二期项目（初定）配套部分 B24 地块位于北京市朝阳区奥林匹克公园中心区，工程北侧为亚洲投资银行大厦，西侧为中国科学院。项目总占地面积 19862.49 平方米，总建筑面积 148728.73 平方米。

本项目北侧 X 型平面的为奢华超五星级丽思卡尔顿酒店（简称 RC）；南侧 L 型平面的为五星级万豪侯爵酒店（简称 MM），如图 1。地下功能为人防兼做汽车库，地上功能主要为酒店客房，裙房主要功能为大堂、酒店配套餐饮、厨房和宴会厅等。



图 1 项目效果图

国家会议中心二期项目配套部分 B24 地块（酒店综合楼），建筑类型为钢框架-支撑结构，地上十四层，地下三层。地下部分功能主要商业、后勤用房、汽车库等，地上功能为宴会厅、酒店，工程建成后将服务于国家大型综合活动，也将与国会一期、国会二期主体及配套部分连成整体，形成超大会展综合体，助力首都形成“会议铁三角”及“展览三峰”的国际交往中心格局。

## 3. 项目难点

### 3.1. BIM 正向设计

各专业设计师近百人组成正向设计 BIM 团队，从方案深化阶段开始，运用 BIM 技术展开全专业正向设计，如图 2。设计阶段通过多轮 BIM 协同和专业优化，保证设计成果的高完成度，完成高度一致的图纸和模型。施工图模型构件总数达数十万级，模型输出图纸上万张。

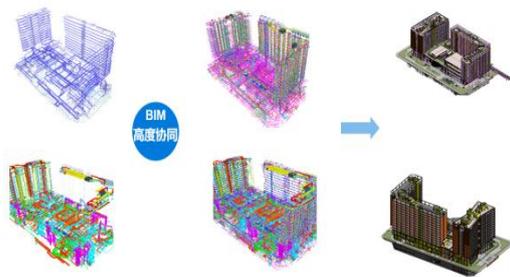


图 2 BIM 正向设计



图 3 全专业 BIM 正向深化设计总体思路

### 3.2. 全专业 BIM 正向深化设计

机电专业作为项目重要部分，项目以机电深化作为主线、主动力，带动并协调其他各专业深化设计，多专业统筹规划，如图 3。不仅考虑机电专业管综深化、支吊架深化、保温形式等因素，还综合考虑结构、建筑、精装、幕墙等其他专业的空间占位和功能保障。

## 4. openBIM 的典型应用

### 4.1. 勘察阶段项目标准制定

#### 4.1.1. BIM Guideline 制定

在项目初始，由业主牵头，多方参与编制《BIM 实施标准/导则》，通过开放式数据标准促进数据交换，为项目 BIM 交付进行提供实际指导，如图 4。

包括 BIM 实施标准（命名、建模行为、表达、交付等基础标准）、BIM 模型精度标准、BIM 运维编码标准、幕墙 BIM 实施标准、机电管线综合原则、碰撞检查原则、BIM 实施编码标准、BIM 实施核查表等。

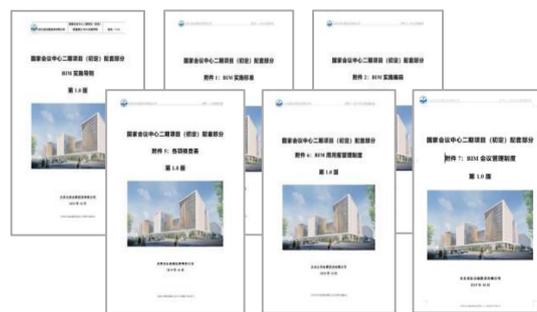


图 4 国家会议中心二期配套部分 BIM 实施导则

#### 4.1.2. BIM Execution Plan 制定

为规范工程建设全过程建筑信息模型的交付要求，提高项目各参与方沟通协调的效率，适应工程建设的需要，建立质量基准，制定模型精度标准如图 5。

国家会议中心二期项目配套部分 (B24 地块)



图 5 BIM 模型精度标准

4.2 设计施工阶段项目信息交换

在 BIM 应用过程中，各参建方为其特定的工作流自由选择软件，而不局限于某个供应商的体系中。使得 AEC 专业人员在不受数据限制的情况下使用自己擅长的软件，为所有利益相关方创造更多价值，最终实现项目多方不同系统之间的数据流动，如表一。

参建方	项目数据	文件类型
设计单位	建筑、结构、机电模型	RVT
	CAD 数据	DWG、DXF
机电深化设计单位	机电模型	RVT
钢结构深化单位	结构模型	IFC
机电施工单位	轻量化模型	NWD、NWC

表一 各参建方数据交换

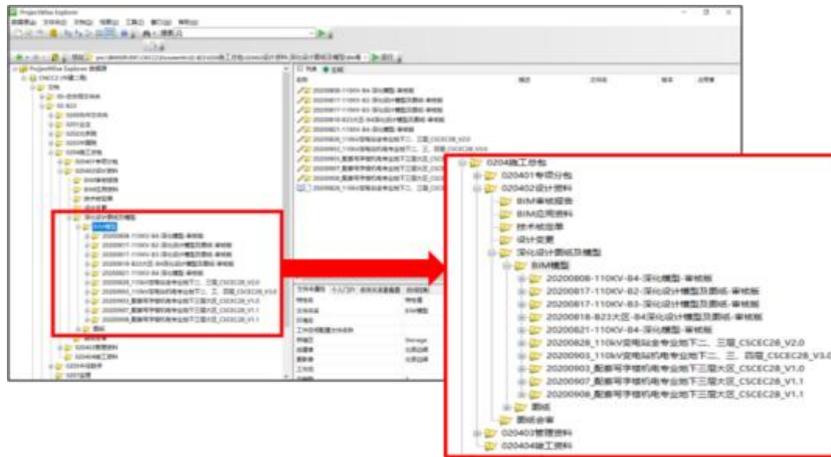


图 6 项目管理平台

#### 4.2.1. Common Data Environment

结合项目管理 PW 平台，如图 6，实现多团队实时协同，根据项目需求开发插件，实现 Bentley、Revit 等多平台软件应用级协同。

项目功能复杂，涉及幕墙、精装、景观、厨房、燃气、热力、厨洗等大量专项设计团队，且需用到 Bentley、Revit 等多平台 BIM 软件协同设计。开发插件与平台融合实现真正协同设计，实现了将 Bentley、Revit 等多平台 BIM 软件整合到同一工作环境，实时发现专项设计对主体设计的影响，大幅提高协同效率。通过敏捷的开放式数据，巩固协作 workflow。

#### 4.2.2. Use case management

项目 BIM 应用共 15 大应用项，36 个应用点，如表二。通过编制 BIM 工作职责及应用点清单，如图 7，解决 BIM 应用标准化问题，提高数据质量和沟通效率，促进跨供应商数据交换，充分利用协作者的成果并引用此成果为其他协作者的工作提供参照。

BIM 应用点总表			
序号	项目阶段	序号	BIM 应用点
1	勘察阶段	01	深基坑工程 BIM 应用
2	设计阶段	01	全专业 BIM 正向设计
		02	优化设计方案
		03	BIM 协同应用
3	施工阶段	01	施工 BIM 应用策划
		02	施工 BIM 应用管理
		03	施工模拟 BIM 应用
		04	全专业深化设计
		05	预算与成本管理 BIM 应用
		06	质量与安全 BIM 应用
		07	进度管理 BIM 应用
		08	物资管理 BIM 应用
		09	施工监理 BIM 应用—三维扫描
4	运维阶段	01	运维编码和信息添加应用

表二 BIM 应用点总表

表 4-3 设计阶段 BIM 工作职责分配表

序号	BIM 工作内容(设计阶段)	业主	BIM 顾问	设计院	智能化设计	幕墙设计	其他专业深化设计	施工 BIM 顾问	EP	运营	装饰设计	结构顾问(AECP)	机电顾问(OMC)
2-1	BIM 正向设计(全专业协同)	B	C	M	M	M	M	-	C	M	M	C	C
2-2	BIM 协同	B	C	A	P	P	P	-	C	P	P	C	C
2-3	协同管理	B	C	M	M	M	M	-	M	M	C	C	C
2-4	深化设计(全专业协同)	B	C	P	P	P	A	-	-	-	-	-	-
2-5	碰撞检测(全专业协同)	B	C	A	P	P	P	-	C	P	C	C	C
2-6	深化设计(全专业协同)	B	C	M/A	P	P	P	-	P	P	C	C	C
2-7	BIM 模型审核(全专业协同)	B	C	A	A	A	A	C	C	A	A	C	C
2-8	模型管理(全专业协同)	B	C	A	A	-	A	-	-	A	A	-	-
2-9	模型应用	B	C	A	P	P	P	-	A/C	P	P	-	-

北京北辰会展投资有限公司.....附件 4: BIM 工作职责分配表及应用点清单

表 4-6 设计阶段 BIM 应用点

序号	应用阶段	序号	BIM 应用点	级别	选项	应用点内容
1	设计管理阶段	1	BIM 实施方案	I	<input checked="" type="checkbox"/>	编制《BIM 实施方案》，包括实施策划和实施标准。
		2	碰撞检测	I	<input checked="" type="checkbox"/>	各专业碰撞检查、管线综合、净高检查等。
2	方案设计阶段	1	方案设计对比及体量优化	I	<input checked="" type="checkbox"/>	通过形状工具来创建几何形体，提取重要的建筑信息，如提取每个楼层面积，或整个楼的总面积。
		2	建筑指标确定	I	<input checked="" type="checkbox"/>	对应建筑容积率、建筑密度、房间功能等参数的确定。
		3	空间可视化分析	I	<input checked="" type="checkbox"/>	通过效果图、漫游动画进行平面空间、竖向空间、视点空间等分析。
3	初步设计阶段	1	建筑模型优化	I	<input checked="" type="checkbox"/>	根据已经获得业主同意的模型进行进一步的优化设计，细化建筑各功能空间，满足其他专业的设计条件。
		2	结构模型优化	I	<input checked="" type="checkbox"/>	在结构方案模型阶段上进行模型的深化，包括设计说明书和结构布置图等。
		3	机电模型优化	I	<input checked="" type="checkbox"/>	在机电方案的基础上进行模型的深化，形成初步设计机电模型。
4	运维阶段	1	BIM 模型审核	I	<input checked="" type="checkbox"/>	对制作的模型进行系统检查，保证图模一致。
		2	碰撞检测	I	<input checked="" type="checkbox"/>	各专业碰撞检查、管线综合、净高检查等。

图 7 BIM 工作职责及应用点单



## 5. openBIM 应用效果总结

通过制定 IFC、BCF、BIM Guideline、BIM Execution Plan 等一系列的标准，制定通用数据环境 CDE，过程中满足 EIR，改善了项目各参与方之间的协同，扩展了 BIM 的优势，使项目和资产在其整个生命周期中受益。

(1) 方案优化：方案编制、交底、应用提供了有力的技术支持，建立施工样板 50 多个。

(2) 总平面布置：通过 BIM 可视化的总平面管理，减少了现场材料转运次数，提升了场地利用率。

(3) 精装深化设计：通过对精装深化设计、考虑精装做法，解决标高问题。

(4) 三维交底：进行 BIM 可视化方案交底，计划减少专项交底会议 20 余场，大幅提高沟通效率。

(5) 二次结构及砌筑：提前解决二次结构与其他专业碰撞，并对砌体进行排布，提升了砌筑速度。

(6) 图档管理：基于 PW 平台协同管理应用，预计各单位协调管理能力和信息沟通效率提高了 60%。

(7) 商务依据：为计量、报量、变更等商务工作提供数据支撑，预计提高商务算量效率 30%以上。

(8) 机电深化设计：协调机电、土建、精装、幕墙等单位，截止到目前已节约 300 余万元。

(9) 系统族库：建立各专业模块族库，共计 200 多个自主研发的族类型，储备可复用的关键技术。

## 6. 专家热议

BIM 技术作为信息化技术发展趋势的必然产物，已由“感性认知”“理性回归”“知行合一”阶段转变为“价值实现”阶段。

胡立新 中建二局副总工程师、技术中心主任

在当今“软件定义、数据驱动”的时代，BIM技术的全面应用标志着建筑业信息化、数字化时代的到来。唯有时刻保持创新意识，全面系统学习，才能顺应时代发展，建设高效高质量工程。

杜劲峰 中建二局信息化管理部

外部的复杂环境对基坑的变形控制标准要求极高，BIM是我们破解难关的重要突破口。

陈刚 国家会议中心二期项目 B24 地块项目总指挥

## （8）浙江镜岭水库工程数字孪生系统（一期）

### 1. 公司介绍

上海城建集团旗下数字化领域开拓先驱者，以上海国资国企数字化转型工作为契机，集中上海城建数字化资源与能力，加快拓展数字经济领域，赋能企业产业链，促进内部协同和外部联合发展。数字集团以“面向智慧城市，协同数字资源，创造数字价值，助力数字转型”为发展理念，依托上海城建集团长期积淀形成的建设与运营管理经验，以及海量的项目实施数据，集成多方参与的数字生态圈资源，借助现代数字技术手段，聚焦打造城市基础设施规划、建设、更新、运营全过程、全场景数字化转型的综合服务能力。发展方向包括智慧城市精细化管理、智能交通综合监管平台、城市综合治理、城市安全、智慧片区、智慧能源、智慧水务以及智慧城市概念下围绕基础设施智慧化建管养产生的相关具有数字价值创造力的所有潜在新兴业态。其旗下包括上海城建信息科技有限公司和上海智能交通有限公司。

当前，数字经济高速发展，数字化已经成为不可逆转的时代趋势。数字集团着力打造多方参与的数字生态圈资源集成平台，提供涵盖城市基础设施“投资-规划-建设-更新-运营”全生命周期的数字化解决方案、软硬件产品和系统集成服务。集团致力于成为城市数字建设的领军者，依托隧道股份深厚的城市建设经验和全产业链资源，打造基于数字孪生的城市“数治”、开发城市交通管理的“数

脑”、成为城市建设运营的“数商”，为推动数字中国和新型智慧城市建设贡献力量。

## 2. 项目概况

浙江镜岭水库位于曹娥江主流澄潭江上，是浙江省“十四五”期间库容最大、单体投资最大、移民人口最多的水利工程。坝址以上集水面积 300 平方千米，水库属大（2）型水库，总库容 3.13 亿立方米，由水库工程和输水工程两部分组成，工程总投资约 122.6 亿元。主坝采用混凝土重力坝，最大坝高 83 米，输水线路全长约 76.3 千米，其中隧洞长 67.66 千米，管道长约 7.63 千米；项目建设涉及征收土地 14087 亩、搬迁安置 12065 人、房屋拆迁 77.08 万 m<sup>2</sup>。

按照“需求牵引、应用至上、数字赋能、提升能力”总要求，以数字化、网络化、智能化为主线，以数字化场景、智慧化模拟、精准化决策为路径，整体数字孪生系统按照“1+9+N”的总体架构，充分运用物联感知、云计算、大数据、BIM+GIS 等技术，搭建包括数据底板+知识平台+模型平台+应用体系的 1 个数字孪生系统；上层应用涵盖镜岭水库从建设阶段到运行阶段全生命周期的所有核心业务，落实预报、预警、预演、预案的“四预”措施，围绕 N 个应用场景，构建全流程感知、全过程孪生、全要素覆盖、全生命周期的镜岭水库数字孪生系统，为镜岭水库安全建设和运行管理提供强有力抓手，也为流域调度提供决策支持。本期建设内容包括“一套标准、一个底座、五个业务系统、一套国产化基础设施”。

## 3. 项目难点

浙江镜岭水库工程数字孪生系统的项目重难点分析主要涵盖以下几个方面：

### 一、数据获取与处理

**海量数据整合与共享：**数字孪生系统需要整合多行业、多源头的 TB 级别非结构化数据，包括气象、水文、地质、工程图纸等。然而，由于管理体制的限制，跨行业数据整合共享难度较大，沟通协调复杂。

**数据矢量化与数字底板构建：**数字孪生工程建设的基础是工程矢量数字化。然而，当前水库管理资料，特别是工程历史图纸资料，大部分以纸质形式存在，且部分纸张老化破损严重。对这些资料进行矢量标绘处理，构建工程 BIM 数字模型，任务繁琐且艰巨。同时，工程级数字底板要求高精度高频率更新，投资巨大。

## 二、技术实现与系统集成

**技术瓶颈与自主可控：**数字孪生系统涉及软硬件均需符合国产自主可控要求，但现状条件下存在一定困难和技术瓶颈。此外，系统建设还涉及水利、通信、设备制造等多行业多专业协同配合，技术集成难度高。

**多种监测设备与系统集成：**工程建设涉及大坝安全监测（渗流、变形等）、水质监测、机电设备监测、水雨情监测、视频监控等多种监测设备及系统。这些设备的集成对技术人员的技术水平要求高，且集成难度较大。

## 三、系统应用与决策支持

**智能分析与决策支持：**数字孪生系统需要基于大数据进行智能分析，以提供精准的决策支持。然而，海量数据的共享是建立实现智能分析的基础，这要求系统在提升自身数字化能力的同时，加强外部数据获取能力建设。

**系统稳定性与可靠性：**数字孪生系统需要保证在高并发、大数据量的情况下稳定运行，提供可靠的决策支持。这要求系统在设计时充分考虑稳定性与可靠性问题，确保在实际应用中能够发挥预期效果。

## 四、项目管理与实施

**项目组织协调：**数字孪生系统建设涉及多个单位、多个专业的协同配合，需要建立良好的组织协调机制，确保项目顺利实施。

**项目风险管理：**数字孪生系统建设面临技术风险、数据风险、管理风险等多种风险。需要建立完善的风险管理机制，及时识别、评估和控制风险，确保项目成功实施。

综上所述，浙江镜岭水库工程数字孪生系统的项目重难点主要集中在数据获取与处理、技术实现与系统集成、系统应用与决策支持以及项目管理与实施等方面。

## 4. openBIM 的典型应用

### 4.1 一套数字孪生标准

基于水利部发布的标准和行业规范，遵循 SL/T《水利信息产品服务总则》，开展镜岭水库数据、及流程标准建设，紧密工程各项业务，以元数据为驱动，建设《数据编码类规范》、《数据接口标准》、《系统集成标准》、《地理信息数

据技术类标准》、《BIM 模型结构分类编码类标准》、《BIM 成果验收与交付类标准》、《数据治理流程标准》，确保数字孪生水利系统数据的规范性、准确性和完整性，为实现数据的共享和交互提供坚实的基础。

#### 4.2 一个数字孪生底座

建立镜岭水库 L3 级地理空间数据底板，集成 DEM、DOM、倾斜摄影形成 cm 级地理空间数据，实现坝体区、堆料区、淹没区共计 30.3 平方千米地理信息采集，融合 BIM 模型，打造项目全方位 3D 数字孪生。

#### 4.3 全景一张图

全景一张图基于游戏引擎将 BIM 模型、周围地形地貌等进行融合，并进行多维的综合分析和计算。展示项目概况、投资、进度、质安、移民等信息的可视化管控，实现项目信息“一屏观”。采集接入实时物联感知设备数据，进行安全预警、风险报警、监测分析等方法，实现项目建设“一屏管”。

#### 4.4 建设协同管理平台

开发了以运维为导向的建设协同管理系统，基于 MBS 的管理理念，围绕水利业务工作实际需求，实现数字孪生建管决策与现场管理的深度融合，工程数据和业务数据可视化展示分析与 BIM 模型联动表达。系统包括设计管理、投资管理、费用管理、进度管理、质量管理和安全管理等模块。实现建设期数字资产的建立，为运维提供全面素材，实现项目信息及时采集、实时汇总、动态把控、超前预测。

#### 4.5 数字审批系统

数字审批系统汇聚项目全周期流程重点审批工作，展现纵向与上下级专题数据交互，横向与参建部门之间业务协同。通过一张图高效掌控全局，实现资料审查、行政审批事项办理过程和审批结果的可视化。

#### 4.6 基于 BIM 数字资产交付

通过 MBS 将质量验评资料与 BIM 模型挂接，实现纸质表单电子化，从现场工序填报、监理平行检查到单元工程质量验评全流程无纸化办公，各家参加单位线上审批盖章，满足参建各方的协同办公需求，提高工作效率，满足参建各方的协同办公需求，充分发掘数据价值。



## 5. openBIM 应用效果总结

在浙江镜岭水库工程数字孪生系统的实践过程中，我们建成全域映射的数字孪生体，全面融合智慧应用，实现各个业务的应用联动和数据融通。实现数字化多方协同，投资、进度、质量、安全等建设管理要素的智慧化，建设浙江镜岭水库工程数字孪生系统，实现项目整体功能优化、价值提升及全寿命期的目标。

具体包括：

1 未建先试。进行项目级 BIM 交付、一套标准、虚拟建造，可视化应用，设计、施工过程辅助决策，提高沟通协同效率。

2. 数字孪生管理平台；建设期协同管理平台，对建设过程进度、质量、安全等进行全面协同管控。

3. BIM 数字资产积累；集 BIM 模型映射建设期档案资料的 BIM 数字资产档案，为智能运维提供数据底座。

4. 数字化交付；面向多部门，以工程对象为核心，以可视化模型为载体，对工程项目建设阶段产生的信息与数字孪生对象进行集成后交付。

## 五、行业趋势和未来展望

### 5.1 行业趋势

#### 数字化转型与标准化

随着建筑行业对数字化技术的需求不断增长，BIM（建筑信息建模）和 openBIM 等技术的广泛采用推动了行业标准化发展。通过 IFC（Industry Foundation Classes）、CDE（Common Data Environment）等国际标准，行业间的协作与数据互操作性显著增强。

#### 技术融合与创新

行业内各类先进技术，如人工智能（AI）、物联网（IoT）、数字孪生（Digital Twin）等，与 BIM 技术的深度融合，促进了设计、施工、运维全过程的智能化管理。例如，AI 辅助设计优化、IoT 数据实时反馈以及数字孪生的预测性维护都在提升行业整体效率。

#### 国内外技术差距缩小

国内软件厂商，如广联达和品茗，通过技术研发和产品创新，逐步缩小与国际领先厂商的差距。尤其是在特定场景和本地化需求的解决方案方面，国内企业展现了强大的竞争力。

#### 新兴技术的普及与深化

MVD（Model View Definition）和 IDS（Information Delivery Specification）等细化技术的广泛应用表明，行业对技术细节的关注正在增加。这些技术的普及进一步提升了数据的利用率和项目的执行效率。

## 5.2 未来展望

### 标准化与互操作性进一步提升

随着 ISO 19650 等标准的深化应用，行业在数据格式、接口协议以及项目管理流程上的标准化将进一步优化，从而促进跨平台协作和长期数据管理的高效性。

### 中小企业的数字化支持

未来，BIM 和相关技术的应用将更加关注中小型企业的需求，通过灵活定价、简化操作以及降低硬件要求，推动其在中小企业中的普及。

### 智能化与自动化加速行业变革

人工智能和自动化技术将在行业中发挥更加关键的作用，例如智能化建模工具的开发、施工机器人技术的普及等，将进一步推动效率和质量的提升。

### 低碳可持续发展驱动技术创新

“双碳”目标的推动将引领绿色建筑和低碳技术的发展。openBIM 技术在能源消耗、碳排放分析中的应用，以及数字孪生技术对资源利用效率的优化，都是行业未来的重要方向。

### 教育与人才培养的进一步深化

未来行业将更加注重通过竞赛、认证和培训等方式培养具备多学科能力和创新精神的专业人才，推动行业长远发展。