

基于 BIM 的桥梁正向设计实施导则

重庆市住房和城乡建设委员会 编制

2025 年 7 月

前 言

为深入贯彻党中央国务院关于建设数字中国的决策部署，落实市委市政府“以数字化变革引领全面深化改革”和数字重庆建设大会的工作安排，促进住建领域数字化转型，推动建筑业高质量发展，根据国务院办公厅《关于促进建筑业持续健康发展的意见》（国办发〔2017〕19号）、住房和城乡建设部等部门《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》（建市〔2020〕60号）和重庆市人民政府办公厅《关于进一步促进建筑业改革与持续健康发展的实施意见》（渝府办发〔2018〕95号）等文件要求，进一步提高 BIM 正向设计应用水平，推动建筑信息模型（Building Information Modeling，简称“BIM”）技术在工程中的应用，充分借鉴国内外BIM标准规范及应用经验，在总结重庆市BIM标准体系和正向设计应用现状、并广泛征求意见的基础上，编制完成《基于BIM的桥梁正向设计实施导则》，以进一步推进桥梁正向设计技术的应用，提高桥梁正向设计生产效率和产品质量。

本导则共分7章和4个附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、模型设定、桥梁正向设计、模型应用、成果交付、附录。

本导则由重庆市住房和城乡建设委员会组织编制。主要起草单位：林同棧国际工程咨询（中国）有限公司。

本导则由重庆市住房和城乡建设委员会负责管理，林同棧国际工程咨询（中国）有限公司负责具体技术内容的解释。请各有关单位在执行本导则过程中所发现的问题或修改意见及时函告林同棧国际工程咨询（中国）有限公司（地址：重庆市渝北区芙蓉路6号，邮编：401121，电话：023-67033113），以便修订时参考。

本导则主编单位、主要起草人和主要审定人：

主编单位： 林同棣国际工程咨询（中国）有限公司

参编单位： 重庆城投基础设施建设有限公司

参编人员： 陈晓虎 杨 丁 陈家勇 乔云强 刘 蔚
邓 宇 艾 云 孟 杰 李哲一 陈若男
赖亚平 陈 锐 刘 力 周 希 郑光琴
刘林珑 杨 妮 刘明志 王伟俨 丁 鹏
聂 觅 李 锦 肖 奎 乔 梁 李 岳

审查人员： 焦震宇 周 峥 汪 宏 吴 恒 卢敏健

目 次

1	总则	1
2	术语	2
3	基本规定	3
3.1	一般规定	3
3.2	正向设计策划	3
3.3	正向设计组织实施	4
4	模型设定	5
4.1	模型要求	5
4.2	环境设置	6
4.3	命名规则	6
4.4	成果管理	6
4.5	版本管理	7
4.6	材质和颜色设置	7
5	桥梁正向设计	8
5.1	一般规定	8
5.2	三维协同设计	8
5.3	正向设计流程	8
5.4	三维模型校审	10
5.5	视图表达	14
6	模型应用	15
6.1	一般规定	15
6.2	设计方案比选	16
6.3	可视化应用	16
6.4	设计阶段质量辅助校核	16
6.5	力学性能分析	17
6.6	设计信息交互	17
6.7	模型拓展应用	18

7 成果交付	20
附录 A 引用及参考标准目录	22
附录 B 桥梁信息模型主体结构颜色设置	23
附录 C 正向设计三维出图示例	24
附录 D 桥梁正向设计典型案例	28
D.1 正向设计策划	28
D.2 桥梁正向设计	36
D.3 设计阶段模型应用	75

1 总则

1.0.1 为规范和引导信息模型在桥梁设计阶段的应用，促进桥梁信息模型的集成应用，加快桥梁 BIM 正向设计的推广速度，提高桥梁信息模型应用质量，提升桥梁设计质量、进度，制定本导则。

1.0.2 本导则适用于重庆市新建桥梁工程的正向设计，改扩建桥梁工程的正向设计可参照执行。

1.0.3 基于 BIM 的桥梁正向设计除应遵循本导则外，尚应符合国家、行业与地方现行有关法律法规、规范标准的规定。

2 术语

2.0.1 桥梁信息模型 Bridge Forward Design Modeling

桥梁工程的几何信息及非几何信息的数字化表达。桥梁信息模型以数据对象的形式，组织和表现市政工程及其组成部分，并具备数据共享、传递和协同的功能。

2.0.2 正向设计 Forward Design

直接在三维环境中设计，以三维模型为出发点和数据源，完成从方案设计到施工图设计的全过程任务，所形成的三维模型能够准确反映设计意图和体现设计细节，并能够利用三维模型及其参数信息，自动生成所需要的图纸及文档。

2.0.3 碰撞检查 Collision Detection

检查桥梁信息模型中各元素之间、以及各元素与周边环境之间是否满足空间相互关系的过程。

2.0.4 设计协同 Design Collaboration

基于桥梁信息模型，在桥梁本专业和其他多专业之间进行数据共享及协调工作的设计过程。

2.0.5 三维模型校审 3D Model Review

基于桥梁信息模型开展设计阶段的校审工作，以保证工程设计质量。

2.0.6 模型应用 Model Application

基于桥梁信息模型，开展模型的设计方案比选、可视化应用、设计阶段质量辅助校核、力学性能分析、设计信息交互、模型拓展应用等。

2.0.7 模型交付 Model Delivery

根据桥梁工程项目应用需求，将桥梁信息模型信息（已按要求完成的模型信息）传递给需求方的过程。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 桥梁信息模型的建模精度应符合桥梁工程项目设计各阶段的工作需求，并符合重庆市现行 BIM 标准。

3.1.2 桥梁信息模型深度应满足各设计阶段和各专业的使用要求，应依据应用需要分专业选择几何和非几何信息深度等级的组合。

3.1.3 桥梁信息模型的信息输入应保证信息源头的准确性，实现各设计阶段、各专业的信息有效传递。

3.1.4 桥梁信息模型主要包含模型设定、编码原则、模型元素、正向设计流程、三维视图表达、正向设计协同校审、成果交付等规定。

3.1.5 桥梁信息模型设计软件宜根据信息建立、数据共享的能力进行选择。桥梁信息模型创建过程中应减少冗余信息的产生。

3.1.6 桥梁信息模型在创建、使用和管理过程中应保障信息完整及安全。

3.1.7 桥梁信息模型应充分考虑工程项目全生命周期各阶段、各专业的应用。

3.1.8 桥梁正向设计阶段应包括方案设计、初步设计、施工图设计阶段，施工图设计阶段的信息模型应考虑与施工阶段模型移交的需求，模型所描述的对象及参数命名宜在全生命周期内保持一致。

3.2 正向设计策划

3.2.1 工程建设项目应事先进行正向设计工作策划，并遵照策划进行正向设计工作的过程管理。

3.2.2 桥梁信息模型创建前应根据桥梁工程阶段应用要求，对建模环境、模型精细度和协同工作方式进行策划。各阶段正向设计工作策划应与项目整体计划相协调一致。

3.2.3 正向设计工作策划宜明确下列内容：

- 1 正向设计实施目标；
- 2 正向设计实施范围和内容；
- 3 人员组织架构和相应职责；
- 4 正向设计实施模式；
- 5 模型创建、使用和管理要求；
- 6 行业及地方信息模型构件资源库；
- 7 正向设计实施标准和信息安全要求；

- 8 正向设计实施进度计划；
- 9 正向设计实施软硬件条件；
- 10 正向设计成果及交付要求。

3.3 正向设计组织实施

3.3.1 设计单位应按照正向设计策划的要求实施及提交成果，并按照信息模型的审查意见修改落实。

3.3.2 工程项目各相关设计方及各专业应建立正向设计协同工作机制，宜搭建基于模型的协同管理平台，制定模型质量控制措施，实施正向设计全过程的管理。

3.3.3 工程项目各阶段交付模型时应采取下列质量控制措施：

- 1 对模型与工程项目之间进行符合性检查；
- 2 对模型中不同元素之间的相互关系进行检查；
- 3 模型与相应标准规范间的符合性检查；
- 4 模型信息的准确性和完整性检查。

4 模型设定

4.1 模型要求

4.1.1 桥梁信息模型信息深度等级划分主要遵循“适度”的原则，在不同阶段反映不同深度，主要包括三方面的内容：构件精度、构件信息、构件范围。同时，宜在满足模型应用需求的基础上最大限度地简化模型构件。

4.1.2 桥梁信息模型宜采用多专业协同方式创建，宜在上一阶段模型交付成果的基础上修改、完善相关模型元素和信息。模型信息在各工程阶段应具有统一性、准确性、完整性。

4.1.3 现状场地环境模型应包括场地边界、地形表面、场地路网和市政管网。现状场地环境模型创建应符合下列规定：

- 1 宜结合 3D 扫描、倾斜摄影、超声波成像等技术手段创建。
- 2 现状市政管网宜采用数据参数驱动方式进行建模。

4.2 环境设置

4.2.1 各专业信息模型之间的项目基点应统一，各专业模型应能整合成完整的项目模型。

4.2.2 模型应采用统一坐标系，基点空间定位宜根据工程所在地，按区域划分分别采用重庆市独立坐标系和重庆市东部独立坐标系，对应的高程基准分别采用 1956 年黄海高程系统和 1985 国家高程基准。应建立采用坐标系统与 CGCS2000 坐标系的转换关系。

4.3 命名规则

4.3.1 桥梁信息模型及交付物的命名应简明且易于辨识。

4.3.2 文件命名宜按照“项目名称_专业代码_部位_描述_交付日期”形式编写，若无子项，可缺省。

【条文说明】 示例：某桥梁模型为“某桥梁项目 K1+000~K1+050 段 CL300 深度的结构工程模型，交付日期为 2024 年 1 月 1 日”，宜命名为“某桥梁项目_QL_K1+000~K1+050 段_JGGC_20240101”。

4.3.3 模型元素命名宜按照“专业_组件_构件_单元”形式编写，若无子项，可缺省。

【条文说明】 示例：某桥梁模型为“某桥梁项目钢-混叠合梁的预制构件顶板”，宜命名为“QL_钢-混叠合梁_预制构件_顶板”。其中：“QL”为桥梁专业代码；“钢-混叠合梁”为组件名称；“预制构件”为构件名称；“顶板”为单元名称。

4.4 成果管理

4.4.1 成果交付格式应为该项目各参与方通用的软件格式，或可转换为该项目通用软件的兼容格式。

4.4.2 桥梁信息模型成果交付存储应满足长期存储、读取方便、交换信息方便等要求，并应具有电子/纸质说明文档。图纸、文本等相关纸质成果交付形式应满足国家相关规定。

4.4.3 桥梁信息模型交付物应满足项目参与各方的使用需求，且应充分表达专业交付信息的集合。

4.4.4 桥梁信息模型交付物内对象元素及数据信息应已获得工程相应阶段参与方整体认可，可作为阶段性有效成果。

4.4.5 桥梁信息模型交付物以通用的数据格式传递工程模型信息，在保障信息安全的前提下，应便于即时阅读与修改，可以图形或图表的形式传递。

4.4.6 桥梁信息模型交付物应兼容项目各参与方使用的相关软件，当以第三方数据交换格式作为信息模型兼容格式进行交付时，交付人应保障信息的完整性和正确性。

4.5 版本管理

4.5.1 各设计阶段的交付物应按照不同设计阶段进行版本管理。

【条文说明】 通过交付审核并正式发布的交付物，才具有相应的版本号。

4.5.2 版本管理应满足在设计成果交付过程中交接双方文件管理的需要，并具有可追溯性。

【条文说明】 宜在桥梁工程设计过程中对各专业设计提资文件和模型成果文件做好版本管理，对于版本修改内容和反馈意见进行必要的说明，为后续成果文件上传至协同管理平台提供版本可追溯的依据。

4.5.3 发生版本变更时，应提供版本管理说明文件，并记录下列内容：

- 1 新的版本号与变更日期；
- 2 版本变更的原因；
- 3 版本变更的内容；
- 4 变更依据的参考文件及对应版本。

【条文说明】 版本变更说明文件宜以表格或文档形式体现，主要用于专业内与专业间协同建模及应用管理，也可用于辅助成果交付。

4.5.4 在同一交付阶段对同一交付物进行多次交付时，应在模型文件命名字段中添加版本号，版本号宜采用英文字母“V”与主版本号和子版本号的组合进行标识，文件命名方式应符合本导则 4.3.2 的规定。

4.5.5 主版本号和子版本号应采用正整数表示，二者采用小数点“.”连接。

4.5.6 在设计需求与前置条件不发生变化的前提下，文件宜采用同一主版本号。

4.6 材质和颜色设置

4.6.1 各构件颜色的设置应以兼顾常规专业制图、基本材质属性和方便专业之间的协同设计为基本原则，应能区分专业和系统。模型中构件的颜色宜根据设计表达用途、设计效果进行设定。

4.6.2 桥梁信息模型应根据组成构件的材料属性赋予其材质，通过材质对各组成构件进行区分。

4.6.3 改、扩建项目中新建部分与既有部分应在颜色上有所区分，材质应按实际工程情况赋予。

5 桥梁正向设计

5.1 一般规定

5.1.1 桥梁正向设计应以三维模型为出发点和数据源，完成从方案设计到施工图设计的全过程任务，包括三维协同设计、三维模型校审、三维视图表达等内容。

5.1.2 符合以下条件之一的桥梁宜在设计阶段优先采用基于 BIM 的桥梁正向设计方法：①长大跨度拱桥、斜拉桥、悬索桥；②城市景观桥或对景观性能有较高要求的桥梁；③重要道路上的桥梁（城市主干路）；④具有异形构件的复杂桥梁；⑤装配式桥梁。

5.1.3 桥梁信息模型的内容与交付格式宜采用通用格式，满足项目各相关方协同工作对信息传递、共享以及互用的要求。模型交付前应进行审核且满足模型应用的相关要求，模型创建、提取、存储和交互应保证数据安全。

5.2 三维协同设计

5.2.1 在正向设计协同工作中，宜借助三维协同设计平台对参与项目各专业进行约束，确保桥梁信息模型数据的统一性与准确性，提高协作效率。协同设计时需保证不同设计阶段之间的信息传递和工作协调。

5.2.2 正向设计项目宜利用项目三维协同管理平台，所有项目资料宜上传至平台，并设定合理的文件夹体系，包括文件夹结构和命名规则等。

5.2.3 正向设计项目的协同制度与管理平台应满足工程项目实施的基本管理要求，并明确划分应用流程的节点和阶段。信息模型的创建与应用宜在协同管理平台上进行，协同管理平台应能整合不同软件的 BIM 模型，并执行协同检查任务。

5.2.4 协同管理平台应结合工作流程、审查要求，在应用规范基础上进行搭建，各专业设计人员获取和提交项目信息都应通过该平台执行，以保证交付数据的及时性、一致性和准确性。

5.2.5 协同管理平台应建立健全的数据安全体系，具有角色权限管理、三维审查流程、版本管理、任务派发、进度管理、模型可视化审查、信息推送、模型操控功能。

5.2.6 模型管理在协同设计平台中应规范专业目录结构的组织规则、命名规则；并基于统一的信息模型进行协同，模型协同校审前需完成质量审核流程，保证模型的正确性和时效性。

5.3 正向设计流程

5.3.1 桥梁专业方案设计阶段的正向设计流程可参照图 5.3.1 执行。

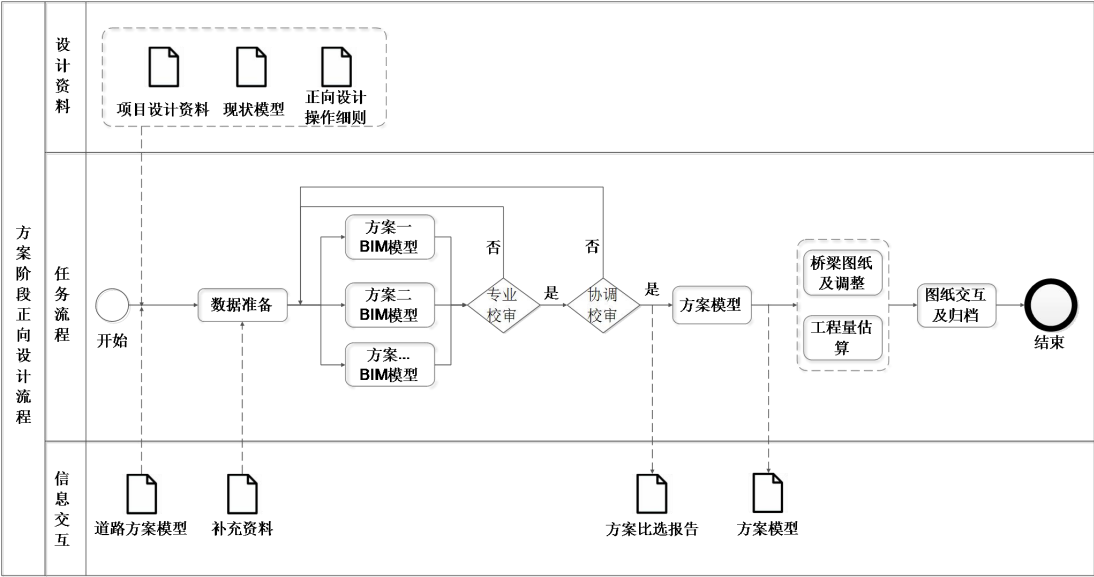


图 5.3.1 方案设计阶段正向设计流程

5.3.2 桥梁专业初步设计阶段的正向设计流程可参照图 5.3.2 执行。

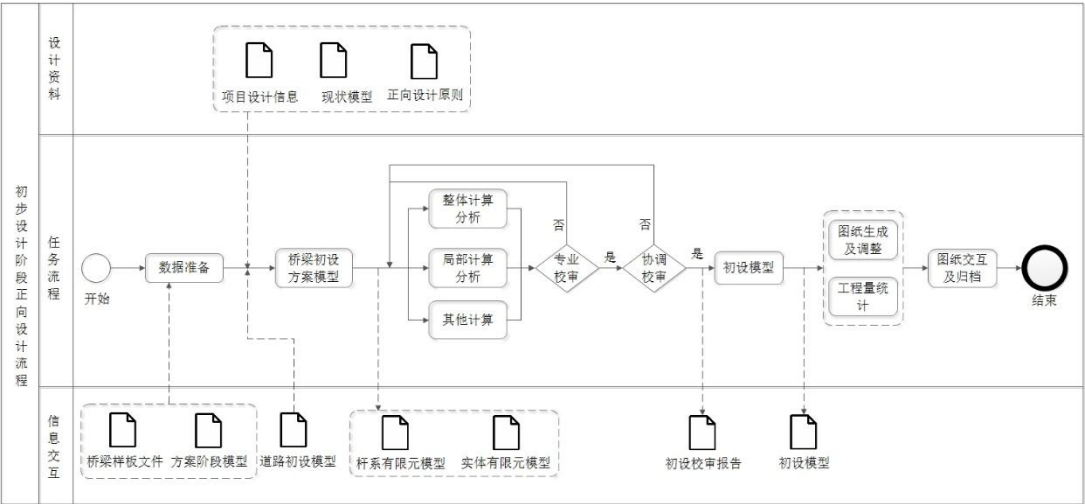


图 5.3.2 初步设计阶段正向设计流程

5.3.3 桥梁专业施工图设计阶段的正向设计流程可参照图 5.3.3 执行。

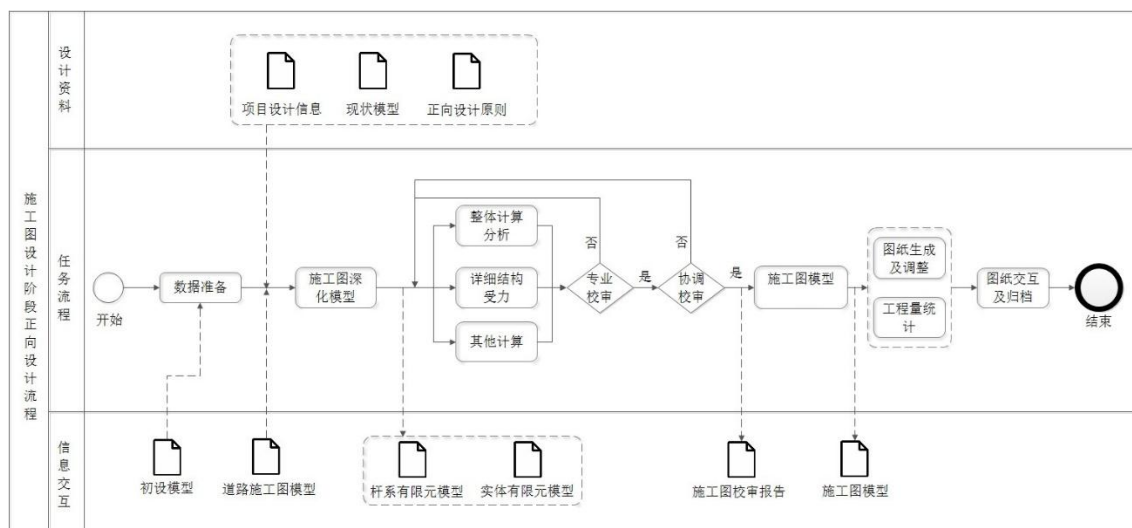


图 5.3.3 施工图设计阶段正向设计流程

5.4 三维模型校审

5.4.1 桥梁信息模型在互提、合模、交付之前，应对模型例行检查，以有效地保证模型信息的准确、完整、合规。

5.4.2 桥梁信息模型的校审内容主要包括完整性检查、规范性检查、合理性检查、图模一致性检查、碰撞检查和协调校审，具体检查内容详见表 5.4.2。

表 5.4.2 信息模型的总体校审内容

检查项	校审子项	校审内容
完整性检查	目录树	1) 检查模型组成的目录树结构，核查模型功能完备性及结构完整性；2) 检查语义属性信息是否完整，交付格式及版本是否正确等。
	功能元素	1) 检查子模型、构件（主梁、墩台、附属等）属性性能是否缺失；2) 审核模型本身是否完善，是否达到预定的设计精度；
	内部元素	通过剖切、漫游等工具检查模型内部空间（箱室内部、桥塔内部等）和细部构造（衔接、开孔等）的准确性及完备性，审核内部构造是否满足相应设计规范、标准等要求。
规范性检查	几何信息	1) 检查模型中没有多余、重叠或重复的构件；2) 检查墩台、基础、桥塔、拱座、拱肋（箱）、横撑、吊索（系杆索）、锚固系统等主要构件的几何尺寸、位置、材质是否表达准确；3) 审核梁段划分、结构构造设计等是否合理。
	非几何信息	1) 检查模型及构件是否包含必要的属性信息、编码信息；2) 审核模型及构件的分类、命名、图层等是否符合规范要求；3) 审核主要构件的混凝土标号、钢结构钢材型号等选型是否合理，检查信息是否准确表达。
	技术规范	1) 审核模型是否正确执行国家、行业、地方等现行有效的标准、规范、规程及有关政策。
	建模规范性	1) 项目中所有模型均应使用统一的单位与度量制，须满足设计深度要求，钢结构以 mm 为单位，混凝土结构

检查项	校审子项	校审内容
		以 cm 为单位。2) 族文件中的构件分类编码是否与本导则第 5 节相一致; 3) 材质及颜色是否满足 4.6 及附录 B 的要求。
	模型拆分	1) 审核构件拆分是否合理, 拆分模型是否有重复构件, 拆分规则是否符合本导则 4.4 节的要求; 2) 审查文件命名是否满足 4.3 节要求。
合理性 检查	坐标系统	审核坐标系统的选择是否准确, 对桩基坐标、拉索控制点及其他特殊结构的图纸空间坐标进行三维放样, 核实图纸表达的准确性。
	高程系统	1) 审核高程体系选择的准确性, 借助高程工具对桥塔、桥墩、桥台、承台及桩基等模型构件顶面高程等进行复核。
	模型反馈	1) 通过对模型和设计技术的综合考察, 审核项目总体方案的合理性, 检查设计技术 (包括模型) 是否有优化的空间。
	结构合理性	1) 对模型的功能连续性、传力合理性等进行检查, 审核关键构造传力的合理性; 2) 检查构件的材质、尺寸、定位、标高、砼等级是否正确。3) 核查基础的襟边和埋深是否满足要求。
图模 一致性	模型与图纸的一致性	1) 检查 BIM 模型与二维图纸结构尺寸表达的一致性; 2) 基于 BIM 模型发布的图纸与设计成果图纸是否一致; 3) 基于 BIM 模型统计的工程数量与设计图纸表达是否一致。
	模型与计算模型的一致性	检查 BIM 模型输入参数与计算模型输入表达的一致性。
碰撞检查	碰撞规划与分析	1) 检查需要进行碰撞检查的专业、模型及构件等是否齐全; 2) 以图表形式保存并输出碰撞检查结果, 审核模型子构件的碰撞情况并形成碰撞检查报告。
	净空分析	1) 对车行和人行净空进行分析, 审核净空是否满足要求, 并以图表形式保存分析报告。
	操作空间检验	1) 检查模型中狭小空间构造设置, 审核狭小空间的施工方案及操作可行性。
协调校审	专业内会审	1) 检查专业内是否存在衔接不合理、功能不匹配的地方; 2) 审核桥梁总体布置是否与项目总体策划相匹配。
	专业间会审	1) 根据模型审核专业间的协作和衔接是否合理; 2) 道路、桥梁、隧道等专业间是否存在干扰和冲突等; 3) 涵洞、通道、地下结构等隐蔽工程是否满足功能及使用要求; 4) 审核各专业的信息模型内容是否满足整体设计要求。

5.4.3 桥梁信息模型组成构件的校审要点参照表 5.4.3 执行。

表 5.4.3 桥梁信息模型组成构件校审要点

部位 分项	序号	校审要点
一、场地模型	1.1	基础位置处的地面标高是否表达准确；
	1.2	桥梁两侧接线道路宽度、功能等表达是否准确；
	1.3	周边构筑物表达是否合理；
	1.4	地质模型和钻孔数据是否准确；
	1.5	桥台锥坡设置是否与实际地面线相吻合；
二、上部结构	2.1	混凝土结构
	2.1.1	混凝土等级、编号、截面尺寸、工程量等是否准确；
	2.1.2	预应力钢束间的净距是否满足规范最小限值；
	2.1.3	预应力钢束的保护层厚度是否满足规范最小限值；
	2.1.4	锚具间的最小间距是否满足要求；
	2.1.5	预应力钢束的最小弯曲半径是否满足要求；
	2.1.6	预应力钢束的张拉端直线段最小长度是否满足要求；
	2.1.7	预应力张拉端槽口设置是否合理，是否与支座垫石冲突；
	2.1.8	钢筋含筋量指标等非几何信息是否合理；
	2.1.9	空间异型混凝土结构控制边线的坐标表达是否准确；
	2.1.10	支座区域的混凝土构造设计是否合理；
	2.2	钢结构
	2.2.1	钢结构节段划分和节段重量是否合理，满足运输限制要求；
	2.2.2	螺栓布置及施拧空间是否合理；
	2.2.3	焊接操作空间是否合理；
	2.2.4	叉耳与耳板布置空间是否匹配；
	2.2.5	钢梁是否考虑预拱度，预拱度设置基础数据是否准确；
	2.2.6	空间异型钢结构控制边线的坐标表达是否准确；
	2.2.7	支座区域的钢结构构造设计是否合理；
	2.3	缆索体系
	2.3.1	缆索空间坐标表达是否准确；
	2.3.2	索塔（索梁）锚固构造的选型及构造是否合理；
	2.3.3	主缆索股锚跨线型及无应力长度是否准确；
	2.3.4	主缆索股锚固（预应力和型钢锚固系统）构造及空间定位是否准确；
	2.3.5	索塔（索梁）锚固构造的重要参数设置是否准确；
三、下部结构	3.1	桥墩
	3.1.1	是否正确反馈桥梁墩台的偏心设置情况，检查是否有不合理的布置情况；
	3.1.2	桥墩高程系统是否准确；
	3.1.3	分阶段施工的桥墩是否反映设计的节段划分；
	3.1.4	桥墩、承台、桩基础定位坐标是否正确；
	3.2	桥台
	3.2.1	桥台台后的挡墙（或锥坡）设置是否与桥梁顺接；
	3.2.2	桥台、承台、桩基础定位坐标是否正确；
	3.2.3	桥台各组成部分的工程数量是否准确；
	3.2.4	桥台搭板的布置（宽度、长度）是否满足规范要求；
	3.2.5	桥台梯道与桥上、桥下人行系统是否衔接顺畅
三、下部结构	3.3	锚碇
	3.3.1	锚碇模型分块是否与设计图纸一致；

	3.3.2	锚碇分块的材料及工程量是否准确；
	3.3.3	锚碇基础的角点定位坐标和高程是否准确；
	3.4	桥塔
	3.4.1	桥塔节段划分是否合理，并正确反馈设计意图；
	3.4.2	桥塔的材料及工程量是否准确；
	3.4.3	桥塔及基础的定位坐标和高程是否准确；
四、附属结构	4.1	栏杆
	4.1.1	项目全线栏杆形式和衔接是否合理、顺畅；
	4.1.2	人行道栏杆构造（净宽要求、高度要求）是否满足规范要求；
	4.1.3	断缝（伸缩缝等）位置处的处理是否合理；
	4.2	护栏
	4.2.1	防撞护栏防撞等级的选取是否满足规范要求；
	4.2.2	防撞护栏的构造形式及与主梁的连接是否合理；
	4.2.3	断缝（伸缩缝等）位置处的处理是否合理；
	4.2.5	项目全线护栏形式和衔接是否合理、顺畅；
	4.3	人行道
	4.3.1	项目全线人行道布置形式和衔接是否合理、顺畅；
	4.3.2	人行道板下方是否满足管线布置空间要求；
	4.3.3	相邻桥梁的人行道铺装材质是否统一；
	4.4	桥上管线
	4.4.1	项目全线管线布置形式和衔接是否合理、顺畅；
	4.4.2	管线功能及材料是否反映准确；
五、其他部分	5.1	计算模型
	5.1.1	计算输入参数（材料、模型截面尺寸、中心定位坐标等）是否与 BIM 模型相符；
	5.1.2	边界条件处理（支座布置形式等）是否与计算模型相符；
	5.1.3	预应力钢束材料、规格是否与结构计算相符；
	5.1.4	预应力钢束线型是否与结构计算相符；
	5.2	二维图纸
	5.2.1	由 BIM 模型发布的图纸与设计图纸是否完全吻合；
	5.2.2	BIM 模型与总体平、立、断图是否相符；
	5.2.3	图纸中工程数量与模型是否相符；

5.5 视图表达

5.5.1 桥梁设计成果所需的二维图纸，包括主梁一般构造图、桥墩一般构造图、桥台一般构造图、主塔一般构造图，应由三维模型直接生成，并根据工程应用需求增补必要的注释信息。

5.5.2 三维视图可作为复杂工程节点的主要表达方式，二维视图可作为辅助表达方式。三维构件的具体表现形式可参照附录 C。

5.5.3 对于用三维模型生成的二维图纸不允许在二维图中自行修改尺寸，如果需要修改构件尺寸，必须先修改三维模型，进而驱动二维图尺寸调整，以保证三维模型和图纸信息的一致性。

5.5.4 三维视图的出图格式可采用 JPG、PNG 或 DWG 格式，当采用 DWG 格式，其图层、线型及颜色应满足出图标准的要求。视图表达内容应能够完整、准确表达设计意图，且能够满足现场施工需要。

6 模型应用

6.1 一般规定

6.1.1 设计阶段模型应用宜贯穿整个设计生命周期，包括方案设计、初步设计、施工图设计阶段。设计各个阶段模型宜在上阶段模型基础上深化创建。

6.1.2 设计阶段信息模型应作为后续施工阶段及运营养护阶段模型的基础。

6.1.3 设计阶段信息模型宜进行全专业协同，桥梁设计模型应与其他专业设计模型具有相同模型设计规则、建模逻辑及数据接口。

6.1.4 工程信息基础数据应以设计模型为载体，设计过程中的应用数据应及时反馈至设计模型中，满足各设计阶段数据提取和经济技术指标统计的需要。

6.1.5 各设计阶段应用宜满足表 6.1.5 要求。

表 6.1.5 设计阶段应用总览

序号	应用项	应用名称	方案设计阶段	初步设计阶段	施工图设计阶段
1	设计方案比选	景观性可视化比选	◎	◎	◎
2		关键节点构造方案比选	◎	◎	◎
3	设计阶段质量辅助校核	结构碰撞检查	◎	◎	◎
4		结构净空分析	◎	◎	◎
5	力学性能分析	主体结构力学分析	◎	◎	◎
6		关键节点力学分析	○	◎	◎
7	设计信息交互	模型出图	○	◎	◎
8		模型工程量统计	○	◎	◎
9		控制点数据应用	×	○	◎
10	模型拓展应用	可视化应用	◎	◎	◎
11		施工期间交通组织模拟	×	×	◎
12		可视化分析及技术交底	×	×	◎
13		桥梁运维	×	×	○

注：表中“◎”表示应包含的应用，“○”表示宜包含的应用，“×”表示可不具备的应用。

6.2 设计方案比选

6.2.1 桥梁工程中，特大桥、景观桥及场地环境复杂的桥梁应利用模型进行设计方案比选，其他类型桥梁可利用模型进行设计方案比选。

6.2.2 利用模型进行设计方案比选时，可根据实际方案比选需求局部提高模型精细度，突出比选重点。

6.2.3 利用模型进行设计方案比选时，比选内容宜包括主体结构、功能性、经济性、景观协调性。桥梁设计方案比选实施要求宜符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 桥梁设计方案比选实施要求

比选项	应用实施要求
主体结构	综合考虑力学性能、可施工性等进行方案比选
功能性	从车行交通功能、慢行交通便利性、管线设施过桥合理性、噪声影响分析等进行方案比选
经济性	从工程造价进行方案比选
景观协调性	将不同桥梁设计方案模型叠合在同一场景的场地环境模型中，可结合文化元素和地方特色，进行全方位、多视角、定视点地可视化分析与对比，也可对夜景灯光进行节假日模式和平常模式的夜景效果比选

6.2.4 方案比选宜基于项目模型和场地模型，通过构建或局部调整方式，对总体布置、空间组合、结构选型等进行多方案设计，宜形成多套备选方案模型。

6.2.5 方案比选宜采用“模型+地理信息”结合方式，在项目设计方案模型和周边环境模型整合后进行比选，对项目设计方案的路线走向、横纵断面布置、桥墩排布等进行比选。

6.2.6 方案比选应用交付成果宜包括多设计方案模型、基于模型的漫游视频、图片、分析报告等。

6.3 可视化应用

6.3.1 可视化应用宜采用基于模型的虚拟仿真漫游辅助项目汇报。

6.3.2 可视化应用宜基于模型模拟桥梁工程完建场景，并应进行多角度可视化校审。

6.3.3 可视化应用交付成果宜包括模型漫游文件、渲染图片、校审报告等。

6.4 设计阶段质量辅助校核

6.4.1 基于模型形成设计质量专项校核报告，校核内容应包含碰撞检查与净空分析。

【条文说明】模型作为辅助工具，需要首先明确应用的场景和目标，针对项目的重点、

难点问题质量校核，应保证有助于对设计过程产生正向积极的推进作用，有利于为设计阶段以及后续阶段创造价值。

6.4.2 模型碰撞检查应包括构件冲突检查和空间冲突检查，检查深度应满足当前设计阶段的应用需求。

【条文说明】构件冲突检查和空间冲突检查分别表示构件之间直接碰撞检查和空间间距是否满足要求的检查，空间冲突检查宜包括车行通道、设备通道、操作空间、通行限高及距离等。

6.4.3 净空分析应包括车行净空、慢行净空、通航净空、施工及检修空间等分析。

6.4.4 设计阶段质量辅助校核交付成果宜包括碰撞检查报告、净空分析报告及优化后图纸；碰撞检查报告宜包括碰撞点位置、碰撞对象等。

6.5 力学性能分析

6.5.1 设计阶段宜利用信息模型转化为力学分析模型并开展力学分析，包含但不限于主体结构 and 关键节点受力分析，分析深度应满足设计阶段的需求。

【条文说明】信息模型和力学分析模型宜具有可交互性，利用信息模型转化为力学分析模型，减少重复建模，提高设计效率。力学分析是在信息模型的基础上，根据结构分析的实际需求，附加力学计算所需的材料特性、荷载以及边界条件等力学要素，并移除不参与结构分析的构件，将信息模型转化为力学分析模型，进行结构分析以验证设计方案的结构合理性。

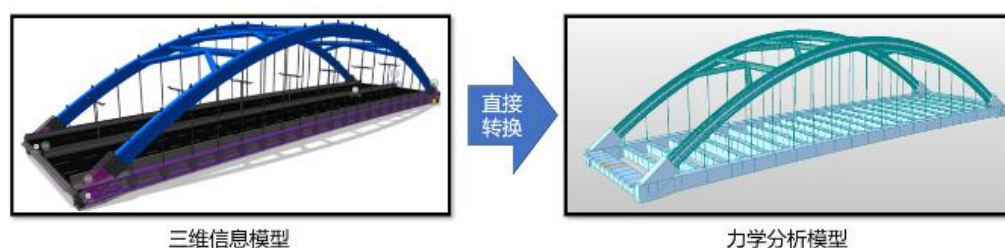


图 6.5.1 模型转化示意

6.5.2 设计阶段利用信息模型辅助进行力学性能分析时，力学分析模型的各项关键参数应与信息模型保持一致。

【条文说明】为了保证计算结果的可靠和有效，需确保力学分析模型中的单元、材料、截面、预应力等关键参数与信息模型保持一致。

6.5.3 力学性能仿真分析应用交付成果宜包括力学性能分析模型、力学性能分析报告。

6.6 设计信息交互

6.6.1 基于桥梁信息模型交互的图纸、工程量、高程坐标、关键设计参数表等，在保证满足

设计成果交付标准的前提下，可作为设计信息输出。

6.6.2 基于桥梁信息模型输出的二维图和轴测图，可作为设计图纸交付的一部分，桥梁专业视图的出图范围应满足现行《重庆市市政工程初步设计文件编制技术规定》和《重庆市市政工程施工图设计文件编制技术规定》的要求。

【条文说明】模型出图宜包括平面图、立面图、剖面图、复杂节点详图及三维轴测图等。鼓励采用两者结合的方式绘图，在二维投影图的基础上，逐渐增加轴测图的比例，提高对三维造型的表达能力。

6.6.3 基于桥梁信息模型提取的模型单元工程量，可作为设计图纸交付的一部分，桥梁专业工程量明细表的统计范围应满足现行《重庆市市政工程初步设计文件编制技术规定》和《重庆市市政工程施工图设计文件编制技术规定》的要求。

6.6.4 桥梁信息模型中提取的控制点坐标和高程数据，可作为施工阶段的基础数据。

6.6.5 桥梁信息模型应与设计成果保持一致，当设计有所调整时，信息模型与设计图纸应同步修改，避免两者不匹配的情况。

【条文说明】模型和设计成果应具有联动性，即模型修改后能够实时反馈图纸、工程量、控制点坐标等最新数据，保证模型数据的唯一性与准确性。

6.7 模型拓展应用

6.7.1 可视化应用宜采用基于信息模型的虚拟仿真漫游辅助项目汇报，模拟桥梁工程完建场景，多角度的可视化校审。

【条文说明】模型可视化应用手段可包括虚拟漫游、VR、AR 等，可视化应用成果可包括视频动画、渲染效果图片、模型截图、报告等。

6.7.2 施工过程中对周边道路产生影响的桥梁项目，宜结合模型进行施工期间交通组织方案仿真分析。

6.7.3 信息模型可用技术交底，包括复杂的施工节点、重要的施工工序等内容。

6.7.4 设计交底宜基于施工图设计阶段模型，结合设计图纸和可视化技术开展，宜将交底记录关联到相关模型元素。桥梁工程关键设计节点、隐蔽工程、管线等部位宜进行模型设计交底。

6.7.5 信息模型宜用于桥梁健康运维，并宜搭建桥梁运维平台。

6.7.6 桥梁数智运维阶段 BIM 模型应满足下列规定：

- 1 数智运维阶段 BIM 模型宜在设计阶段 BIM 模型上添加传感器三维模型；
- 2 传感器三维模型位置应与实际安装位置保持一致；
- 3 传感器三维模型应关联测点名称、测点编号、测点位置、传感器名称、传感器编号、

监测项目等基础信息；

- 4 传感器三维模型应关联健康监测系统采集、处理、分析后的动态数据；
- 5 当监测动态数据超过设定阈值，对应传感器三维模型应具有报警功能。

7 成果交付

7.1.1 信息模型文件应符合设计阶段建模的相关规定及对模型精细度的要求，成果交付方按照质量管理规定检查或校审后方可交付。

7.1.2 设计阶段成果交付内容应包括：

- 1 桥梁信息模型：应提供桥梁专业信息模型。
- 2 综合协调模型：应提供综合协调模型，重点用于进行专业间的综合协调及完成设计优化分析工作。
- 3 轻量化浏览模型：应提供由信息模型创建的带有必要工程数据信息的轻量化浏览模型。
- 4 分析模型及报告：应提供模型应用及生成的分析报告，并根据需要及业主要求提供其他分析报告和模型。
- 5 可视化模型及生成文件：应提交基于信息模型的表示真实尺寸的可视化展示模型，及其创建的效果图、场景漫游、交互式实时漫游虚拟现实系统、对应的展示视频文件等可视化成果。
- 6 由信息模型生成的二维视图：该阶段宜通过信息模型直接生成总平面图、立面图等，对于比较复杂的剖面、立面以及大样图等可通过二维方式进行补充。

7.1.3 设计阶段模型应用交付内容宜包括：

表 7.1.3 设计阶段模型应用交付物及要求

序号	应用点	成果清单	交付内容	格式	CL100	CL200	CL300
1	设计方案比选	景观方案比选报告	从项目主体结构、功能性、经济性、景观协调性等方面进行设计方案比选，形成方案比选报告。	.docx 或.pdf	●	●	—
2	设计阶段质量辅助校核	设计质量校核报告	包括碰撞检查、净空分析与优化内容。	.docx 或.pdf	—	●	●
3	力学性能分析	信息模型辅助力学性能分析应用报告	包括信息模型计算交互和力学性能分析应用报告。	.docx 或.pdf	—	●	●
4	设计信息交互	设计图纸、工程量表、碳排放清单、设计参数表等	基于模型交付的图纸、工程量、碳排放清单、高程坐标等设计成果。	.dwg 和.pdf	●	●	●

序号	应用点	成果清单	交付内容	格式	CL100	CL200	CL300
5	仿真应用	可视化应用报告	包括多视角可视化分析、模型漫游、模型渲染及模型校审报告。	.jpg、.MP4、.docx 或 .pdf	●	●	—
		施工期交通组织仿真分析报告	能够充分表达施工期间交通组织方案的图片文件和三维漫游视频。	.jpg 和 .MP4	●	●	●
		施工分析报告	复杂施工节点、重要施工工序图片、报告或视频文件等。	.jpg、.MP4、.docx 或 .pdf	—	—	●
		可执行程序	包含模型及周边必要构筑物的可执行程序文件	.exe	—	—	●

7.1.4 设计阶段正向设计成果及模型应用交付物可参照下图进行文件夹归类交付。

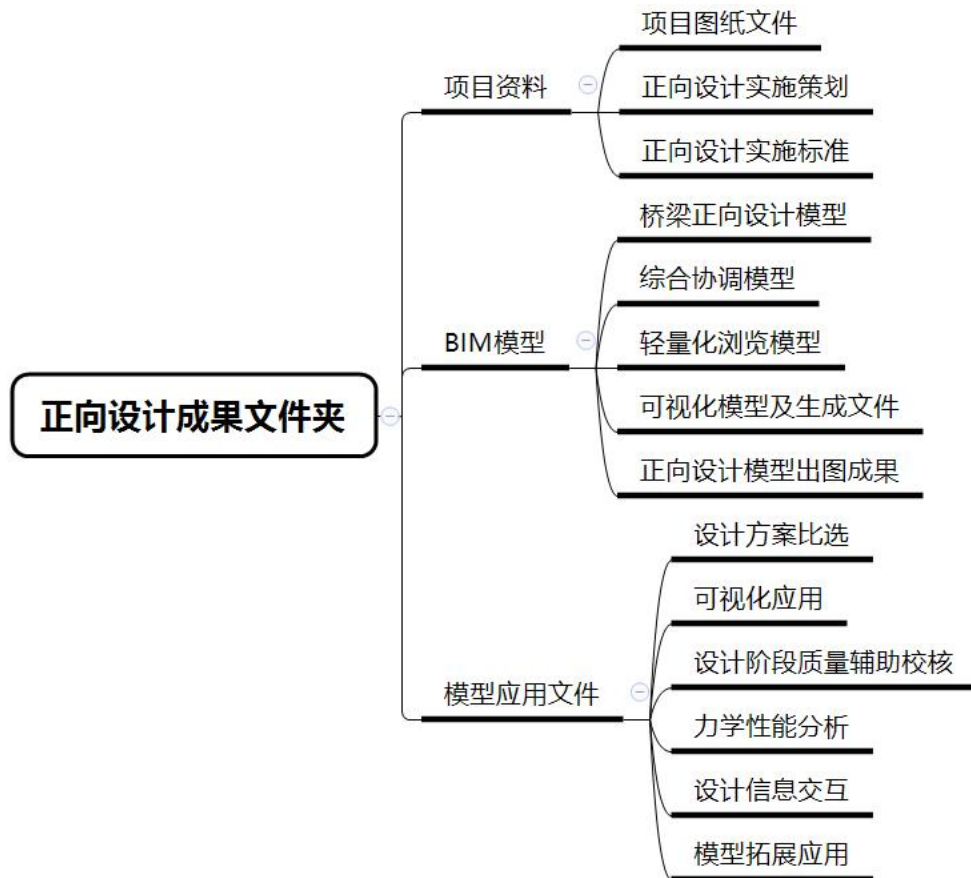


图 7.1.4 正向设计成果文件夹

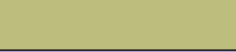
附录 A 引用及参考标准目录

- (1) 《建筑信息模型存储标准》（GB/T51447-2021）
 - (2) 《建筑信息模型设计交付标准》（GB/T 51301-2018）
 - (3) 《建筑信息模型应用统一标准》（GBT 51212-2016）
 - (4) 《公路工程信息模型应用统一标准》（JTGT 2420—2021）
 - (5) 《公路工程设计信息模型应用标准》（JTGT 2421—2021）
 - (6) 《市政工程信息模型技术标准》（DBJ50T-282-2025）
 - (7) 《重庆市市政工程初步设计文件编制技术规定》（2022）
 - (8) 《重庆市市政工程初步设计文件技术审查要点》（2022）
 - (9) 《重庆市市政工程施工图设计文件编制技术规定》（2022）
 - (10) 《重庆市市政工程施工图设计文件技术审查要点》（2022）
- （按国标、行标、地标依次列出）

附录 B 桥梁信息模型主体结构颜色设置

B.0.1 桥梁专业构件的颜色及材质设置，应按表 B.0.1 执行。

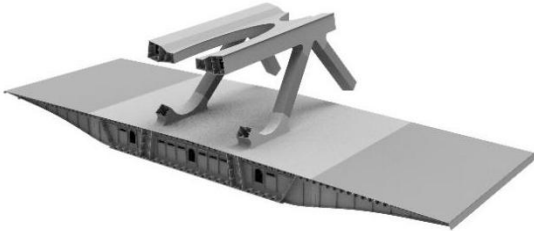
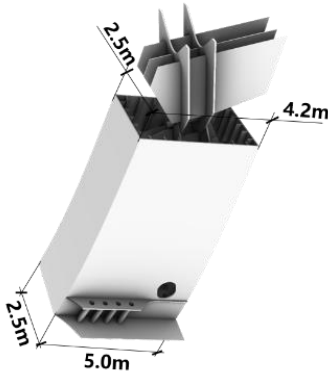
表 B.0.1 桥梁构件颜色及材质设置

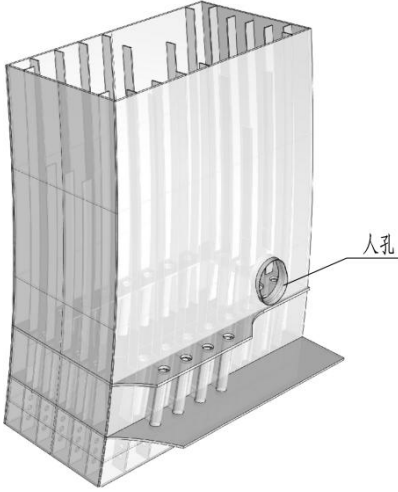
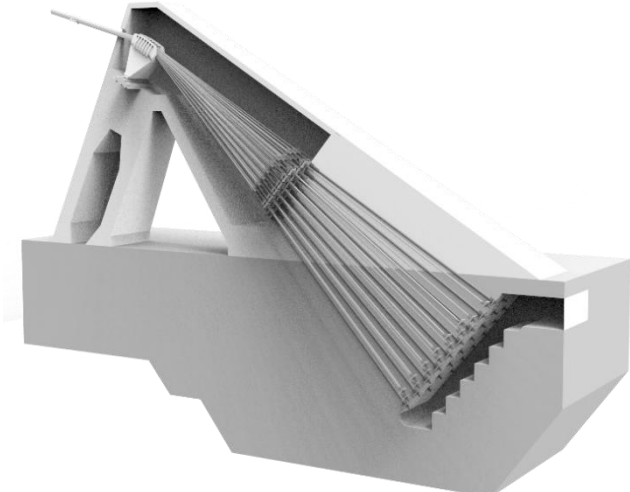
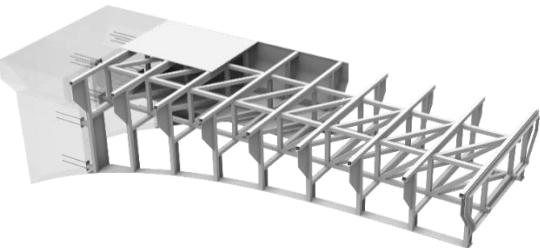
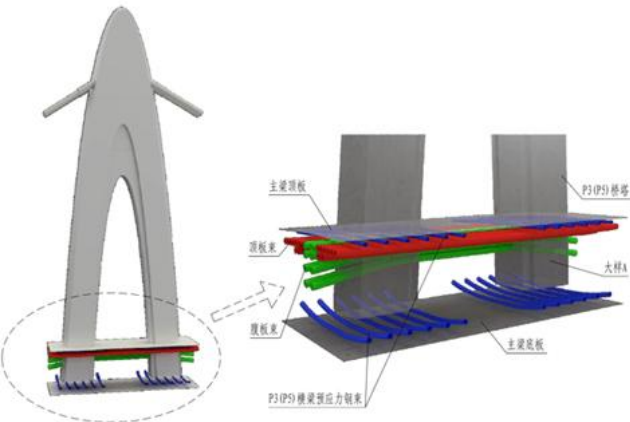
专项工程	序号	图层命名	颜色示意	颜色 RGB 值
主体结构	1	承台		0 0 128
	2	桩基		49 73 97
	3	桥墩		0 153 255
	4	桥台		127 157 189
	5	锚碇		66 98 130
	7	桥塔		165 0 0
	8	混凝土主梁		255 204 153
	9	钢梁		255 153 0
	10	叠合梁		255 204 0
	11	拱结构		255 102 0
	12	主缆		128 0 128
	13	吊索		153 51 102
	14	圆管涵		0 0 128
	15	盖板涵		35 35 255
	16	箱涵		67 67 255
	17	拱涵		153 153 255
附属	1	人行道结构		189 189 126
	2	栏杆		177 160 199
	3	防撞护栏		96 73 122
	4	排水系统		204 192 218
	5	支座系统		165 165 82

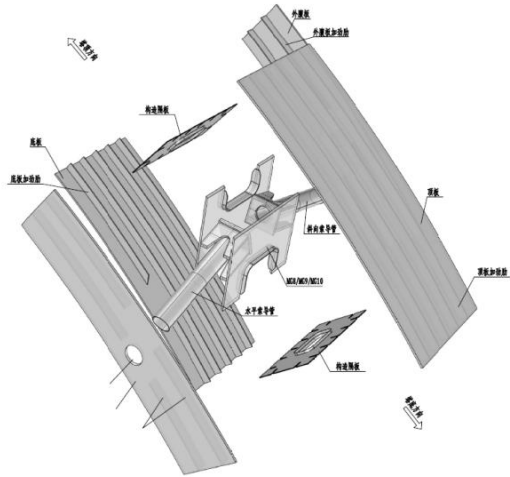
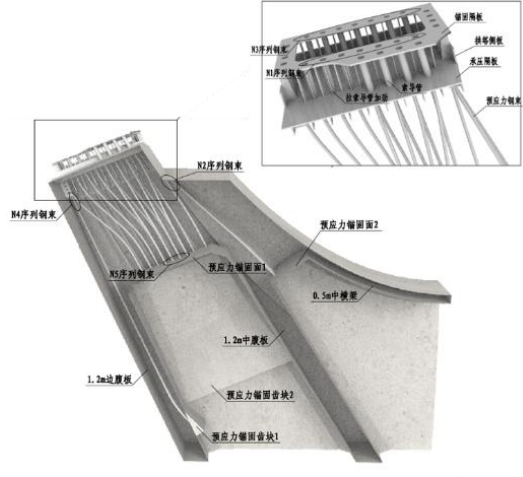
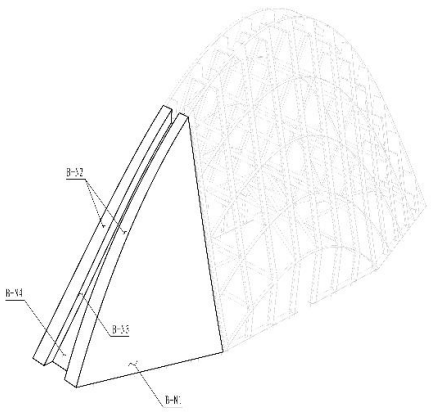
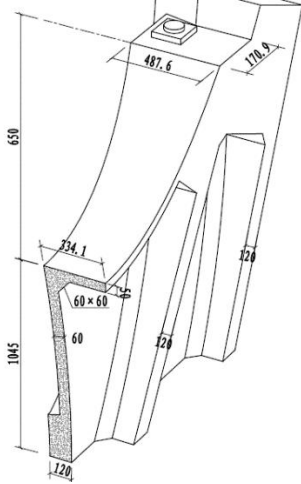
附录 C 正向设计三维出图示例

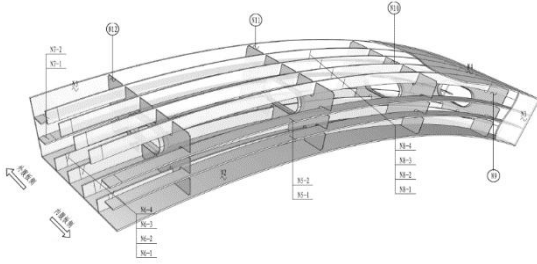
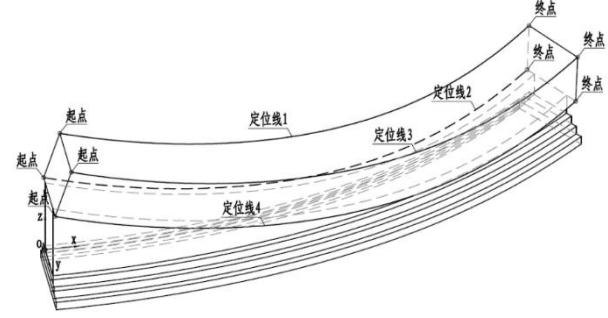
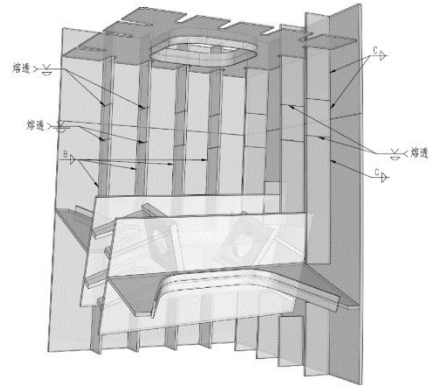
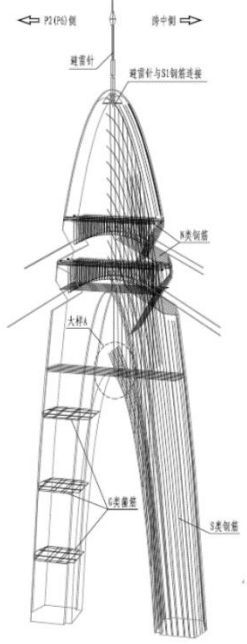
C.0.1 桥梁复杂构件的三维视图表达可参考表 C.0.1 执行。

表 C.0.1 桥梁构件三维视图表达

类型	视图要求	钢结构典型示例	混凝土结构典型示例
外轮廓三维表达	针对复杂构件,直观反映三维可视化视图效果,用于快速识别复杂构件的几何表达,对于不同节段或材质的构件,可采用彩色或灰度反应。		
复杂构件的结构尺寸表达	满足各阶段设计深度要求的几何尺寸表达精度,三维示意图中可反映主要的总体尺寸标注,交互时需将工作视窗投影设置为“平行模式”。		

类型	视图要求	钢结构典型示例	混凝土结构典型示例
内部构造透视图	针对复杂内部构造, 可通过设置部分平面为透明, 以反映复杂的内部构造。		
内部复杂构件的相互关系表达	针对复杂结构的内部构件, 可通过部分板件的剖切或掀开, 反映内部板件及组成单元的几何关系。		

类型	视图要求	钢结构典型示例	混凝土结构典型示例
内部构造三维的可视化表达	借助结构钢结构的爆炸图示意及混凝土结构的断面剖切示意,准确表达复杂结构的内部构造细节。		
构件三维平面出图	针对部分需要交互CAD线型的构造,可通过 dwg 格式与之交互,交互前应做好图层的管理,并根据精度要求选择交互的模式。最后,在CAD中进行尺寸标注和文字样式的统一调整。		

类型	视图要求	钢结构典型示例	混凝土结构典型示例
三维定位信息可视化表达	满足需要反映三维定位信息的深度要求,结合图表进行说明,力求简洁直观。		
内部加劲及钢筋可视化表达	针对内部构造图纸表达的需求,选取合适的视角,借助局部掀开或者线框方式进行三维模型视图的合理表达。		

附录 D 桥梁正向设计典型案例

D.1 正向设计策划

D.1.1 项目概况

重庆轨道交通十号线是重庆城市轨道交通线网中南北走向的一条骨干线路,而南纪门长江大桥为其跨越长江的关键控制工程。重庆南纪门长江大桥为轨道专用桥,位于南滨路站~七星岗站区间,南接南岸区,北连渝中区,桥址地处城市中心,桥梁两端直接与区间隧道相连。桥梁、隧道、地下车站三者紧密相关、互相影响。项目沿线地形起伏大,多为成熟的居住区,高楼林立,从南至北需穿越南滨国际塔楼、跨越南滨路、长滨公园、长滨路、中兴路、南区路以及在建的雷家坡立交,边界条件十分复杂。



图 D.1.1-1 南纪门长江大桥区位

南纪门轨道专用桥属于轨道十号线的二期(兰花路-鲤鱼池段)工程,线路主要位于南岸区和渝中区之间,联系南坪组团、渝中组团和观音桥组团,本项目线路全长约 1.2km。

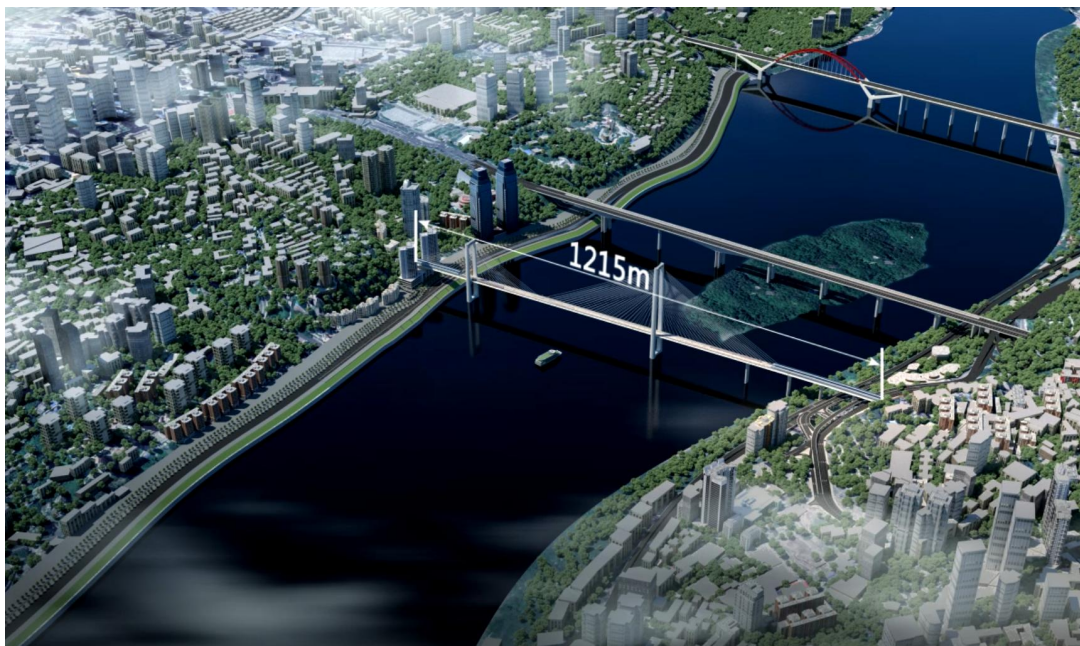


图 D.1.1-2 南纪门长江大桥工程范围

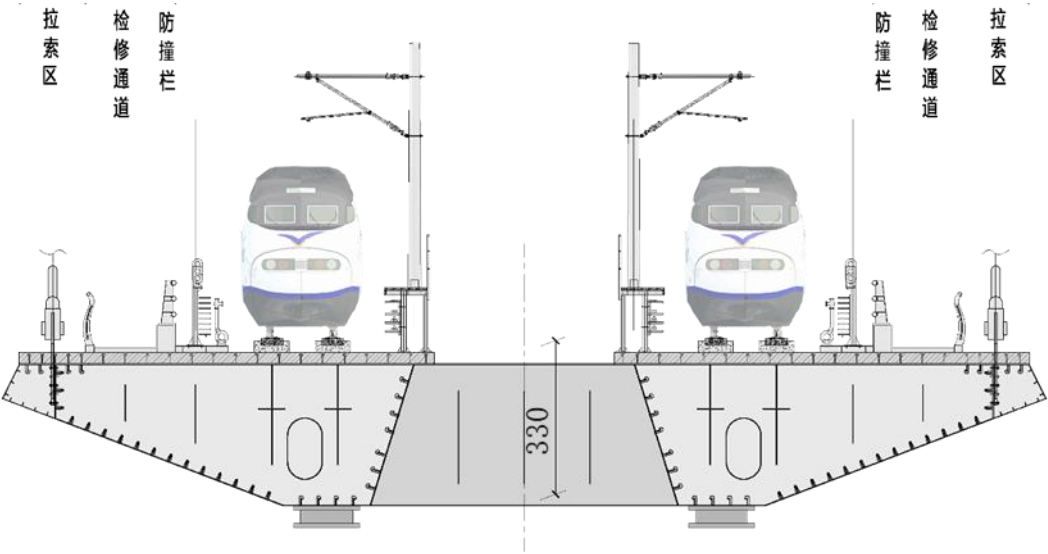
项目前期对桥位进行了详细研究论证，综合用地情况、穿越条件、线路站点布设、工程经济性等多方面因素，最终确定规划桥位为实施桥位，大桥需穿越既有南滨国际塔楼，结构边缘距离塔楼净距仅 7.5m，梁底距离裙楼顶部净距仅 8.0m，大桥与南滨国际之间的空间关系如下图所示，大桥设计方案应充分考虑周边建筑的影响。



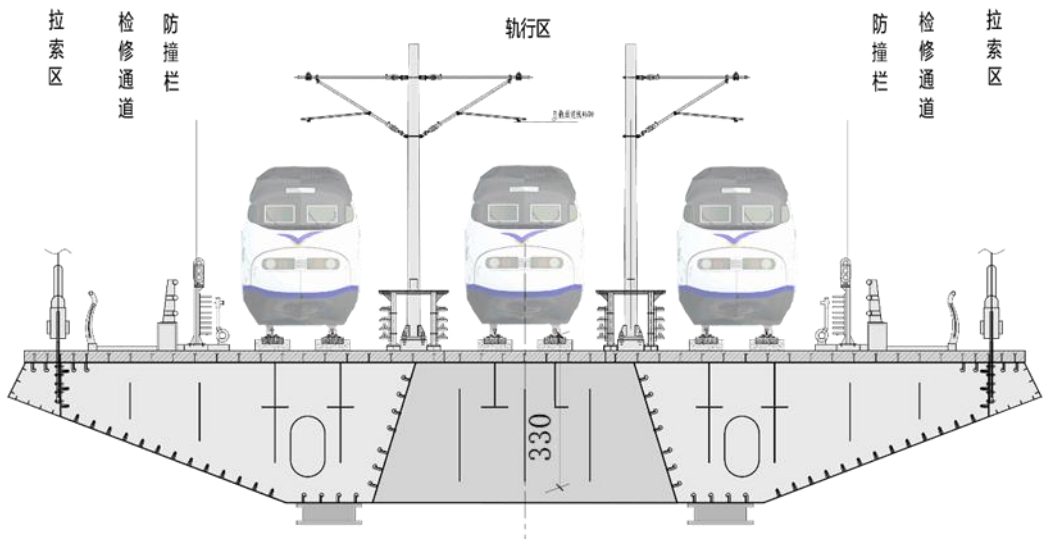
图 D.1.1-3 南滨国际位置空间关系

由于大桥南侧设置有故障停车线，故轨行区有双线布置和三线布置两种形式。横断面布置如下图所示。大桥南侧为三线区间，线间距为 5m；北侧为双线区间，线间距为 10m。桥

梁标准横断面布置为 1.5m（拉索区）+1.6m（检修人行道）+0.45m（防撞护栏）+15.9m（轨行区）+0.45m（防撞护栏）+1.6m（检修人行道）+1.5m（拉索区）=23.0m（全宽）。



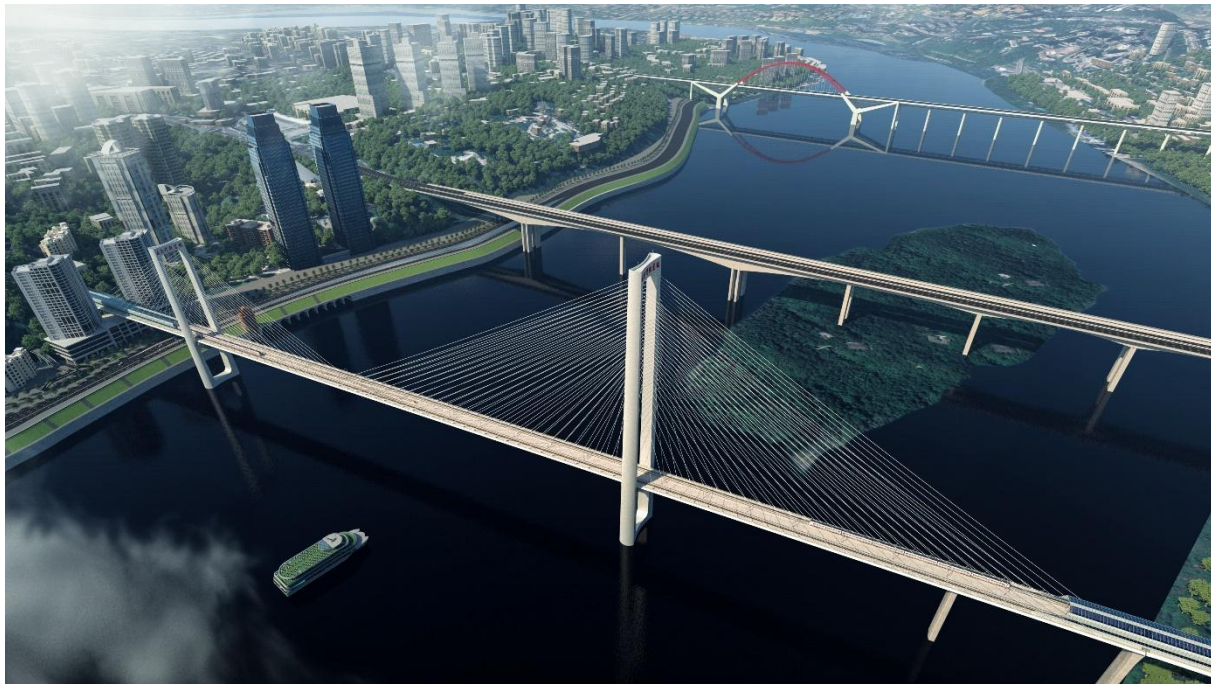
a) 两线标准横断面



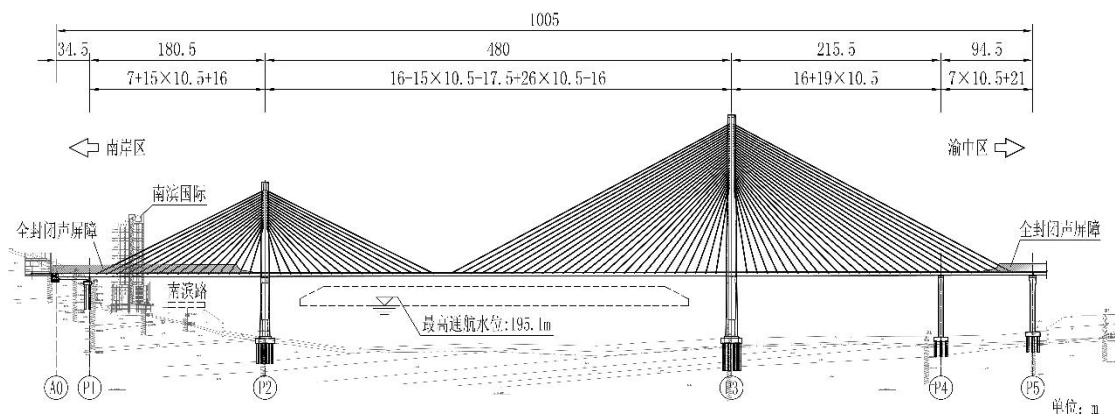
b) 三线标准横断面

图 D.1.1-4 南纪门长江大桥标准横断面

南纪门长江大桥用五跨高低塔双索面半漂浮体系斜拉桥，跨径布置为 (34.5+180.5+480+215.5+94.5)m；引桥采用三跨等截面连续梁桥，跨径布置为 (2×70+65)m。主桥及引桥主梁均采用钢箱叠合梁的形式，桥塔为门型桥塔形式。



a) 大桥效果图



b) 大桥总体布置

图 D.1.1-5 南纪门长江大桥

综上所述，南纪门大桥具备以下几个特点：

- (1) 边界条件复杂：从南至北需穿越南滨国际塔楼、跨越南滨路、长滨公园、长滨路、中兴路、南区路以及在建的雷家坡立交，边界条件非常复杂。
- (2) 桥面布置复杂：受控于总体线路用地、站点、总投资等综合因素影响，矮塔侧为三线区间，中间为停车故障线，高塔侧为正常双线轨道，在国内外均无先例。
- (3) 施工组织方案复杂：本项目北岸渝中区侧现状既有城市道路十分复杂，且地形变化剧烈，需要选择从河岸向桥台步履式顶推方案，P5 桥墩设置顶推+提升平台，同时解决顶推场地和梁段运输的困难。

故此，本项目亟需采用正向设计技术手段开展设计全阶段的方案研究。

D.1.2 正向设计实施目标

南纪门长江大桥正向设计实践旨在实现以设计师为主导的正向设计,开启全专业的 BIM 技术应用模式,完成全专业的 BIM 技术推广,着力于将 BIM 技术贯穿应用于整个设计阶段,基于“R+GH+R”正向设计协同平台,整合优化二维设计流程,以三维地勘数据和设计知识库为基础资料,实施三维正向设计。在正向设计过程中,实现以下目标:

(1) 可视化设计:所见即所得,通过技术手段及工具的提升,使设计人员能使用三维的思考方式来完成设计,同时也能够给业主及最终用户创造三维可视化的应用场景,其中包括设计方案、阶段性的真实效果图。

(2) 性能化分析:结合 BIM 技术,设计人员在设计过程中创建的 BIM 模型已经包含了大量的设计信息(几何信息、材料性能、构件属性等),只要将 BIM 模型导入相关的性能化分析软件,就可以得到相应的分析结果,原本需要专业人士花费大量时间输入大量专业数据的过程,现在可以批量自动完成,大大降低了性能化分析的周期,提高了设计质量,同时也进一步为设计赋能,为业主提供更专业的技能和服务。

(3) 工程量统计: BIM 是一个富含工程信息的数据库,可以真实地提供造价管理需要的工程量信息,借助这些信息可以快速对各种构件进行统计分析,大大减少了繁琐的人工操作和潜在错误,便于实现工程量信息与设计方案的完全一致。通过 BIM 获得准确的工程量统计,可以用于前期设计过程中的成本估算、在预算范围内进行不同桥型方案的比选。

(4) 场地分析: BIM 结合地理信息系统(Geographic Information System, 简称(GIS),对场地及拟建的建筑物空间数据进行建模,通过 BIM 及 GIS 软件的强大功能,迅速得出令人信服的分析结果,帮助项目在规划阶段评估场地的使用条件和特点,从而做出新建项目最理想的场地规划、交通流线组织关系、建筑布局等关键决策。

(5) 施工进度模拟:将 BIM 模型与施工进度计划相链接,将空间信息与时间信息整合在一个可视的 4D(3D+Time)模型中,可以直观、精确地反映整个建筑的施工过程。

最后,总结南纪门长江大桥的 BIM 应用实践经验,形成一套可沿用、可拓展、可复制的高效正向设计方法,帮助提高设计效率和设计品质,为后期 BIM 项目的实施提供示范推广的业务模式,同时将正向设计信息有效延伸至施工运维阶段,服务于工程建设全生命周期。

D.1.3 正向设计实施范围

桥梁工程正向设计阶段原则上划分为方案设计、初步设计、施工图设计。桥梁信息模型的信息应包括几何信息和非几何信息,根据设计阶段的应用共划分为 3 个等级: CL100、

CL200、CL300。

表 D.1.3-1 模型总体深度要求

总体深度要求			BIM 应用
CL100 (方案设计)	模型	G1—满足二维化或者符号化识别需求的几何表达精度。	1、可视化设计 2、性能化设计 3、交互式设计 4、方案展示
	信息	N1—宜包含模型单元的身份描述、项目信息、组织角色等信息。	
CL200 (初步设计)	模型	G2—满足空间占位、主要颜色等粗略识别需求的几何表达精度。	1、初设建模、碰撞检查 2、正向出图 3、性能分析、结构分析 4、工程量统计 5、设计概算
	信息	N2—宜包括和补充 N1 等级信息，增加实体系统关系、组成及材质，性能或属性等信息。	
CL300 (施工图设计)	模型	G3—满足施工精细识别需求的几何表达精度，保证不会在施工模拟和碰撞检查中产生错误判断。	1、真实建模（整体模型） 2、专项报批 3、管线综合 4、结构详细分析 5、工程量统计、参数化出图
	信息	N3—宜包括和补充 N2 等级信息，增加生产信息、安装信息。	

设计应用阶段的桥梁工程信息模型精度应符合表 D.1.3-2 的规定。

表 D.1.3-2 桥梁工程领域设计应用阶段建模精度

专业类别	系统或元素	精细度要求	
桥梁	场地环境	工可、方案设计	1. 场地周边河流、航道、已有或待建道路及其他影响桥梁的构筑物等的位置、外形尺寸等重要信息； 2. 道路等级、桥宽等；
		初步设计	1. 场地周边河流、航道、已有或待建道路及其他影响桥梁的构筑物等的位置、外形尺寸等重要信息； 2. 道路等级、桥宽等；
		施工图设计	1. 场地周边河流、航道、已有或待建道路及其他影响桥梁的构筑物等的位置、外形尺寸等重要信息； 2. 道路等级、桥宽等；
	上部结构	工可、方案设计	1. 定义主梁跨径及结构形式；
		初步设计	1. 建立上部梁体等各构件的基本几何尺寸、位置；
		施工图设计	1. 建立上部梁体等各构件的深化几何尺寸、准确定位信息； 2. 各构件的配束信息；

专业类别	系统或元素	精细度要求	
	下部结构	工可、方案设计	1. 定义下部结构形式；
		初步设计	1. 建立下部结构各构件的基本几何尺寸、位置；
		施工图设计	1. 建立下部结构各构件的深化几何尺寸、准确定位信息； 2. 各构件的配束信息；
	附属结构	初步设计	1. 建立各构件的基本几何尺寸、位置；
		施工图设计	1. 建立各构件的深化几何尺寸、准确定位信息；

D.1.4 人员组织架构和相应职责

BIM 正向设计的流程中，不应该有“只负责建模”BIM 工程师的角色，所有 BIM 建模的人员都应参与设计与出图。同时，所有设计师都应参与到 BIM 协同设计工作中，既要完成建模工作，也要看模、审模，并基于模型完善设计。因此，项目组通过确定项目层级的“正向设计负责人”具体负责落实细部做法、专业间的协调，由设计团队具体开展桥梁正向设计实施工作。

项目BIM负责人对内需做好BIM技术的管理和协调工作，对外则负责BIM模型与其他单位的对接与沟通。主要职责包括：

- （1）总体负责项目设计合同中关于BIM相关应用要求与交付要求的落地和成果交付。
- （2）收集并协调解决项目实施中可能遇到的各类BIM技术问题。
- （3）组织项目组成员进行工作集划分，把控模型的总体建模原则。
- （4）负责模型深度及质量控制。
- （5）负责模型技术交底、模型维护、模型整合交付等。
- （6）组织完成各阶段的BIM模型可视化交互成果。
- （7）组织完成项目所需的BIM拓展应用。

为更好地推动企业BIM正向设计技术的发展，我司成立了数智化部，并在企业各业务部门内部设定了数智经理、BIM负责人、数智牵头人等岗位，以促进正向设计技术的项目落地实施。各个岗位的具体职责如下：

（1）数智化部

为BIM正向设计推动的归口管理部门，负责BIM正向设计应用的战略推进，制定公司级BIM正向设计的发展规划，为各事业部BIM设计应用提供技术支撑，组织对各生产部门的BIM设计应用考核。

（2）数智经理

根据公司要求组织编制部门BIM正向设计年度计划，组织、协调BIM设计生产活动，协

助完成本部门BIM设计人才培养，组织力量参与建立和完善部门有关三维软件、三维技术标准、构件库等，完成本部门BIM正向设计推进目标。

(3) 项目BIM负责人

在正向设计项目实施过程中，总结遇到的BIM技术问题、经验或教训，辅助完善企业的相关标准、模板文件、构件库及BIM技术相关知识库。结合知识管理，进一步提升企业的正向设计效率。

(4) 数智攻坚组

为生产部门正向设计项目推动的攻坚小组，负责BIM正向设计应用的实际推进，为BIM设计应用提供技术支撑（组织培训、BIM研讨、技术分享、BIM奖项参评等），组织对部门的正向设计项目应用考核。

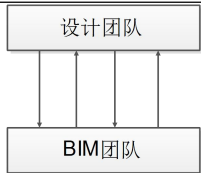
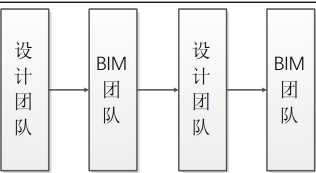
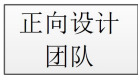
(5) BIM正向设计师

直接在三维环境中进行各专业的正向设计，创建BIM模型，辅助完成专业间碰撞检查、专业协调等与BIM相关的工作。

D.1.5 正向设计实施模式

正向设计工作的开展，除了对组织架构进行调整外，还需进一步确定正向设计的组织模型。目前主要有三种正向设计协作模式，包括并行模式、串行模式和融合模式。对于并行模式和串行模式，设计师都会存在与 BIM 工程师信息脱节的情况，难以形成技术沉淀且投入成本较高。而融合模式中的设计师本身就是 BIM 建模人员，一方面可保证 BIM 模型与设计意图的高度统一，确保设计质量，避免信息传递过程中的信息丢失；另一方面可持续对 BIM 模型成果进行知识沉淀和正向迭代，逐步完善企业的三维知识体系。随着桥梁设计知识库的不断积累，桥梁 BIM 构件库可以大量重复利用，进而减少未来的工作量。因此，随着 BIM 技术应用的逐渐熟练，形成以设计师为主导的正向设计融合模式，将实现使用更少的资源完成更多、更好的正向设计工作，故推荐采用融合模式开展正向设计工作。

表 D.1.5 正向设计实施组织模式

正向设计组织模式	并行模式	串行模式	融合模式
协作模式			
优势	容易推广	发挥各自优势	信息流畅、BIM 价值体现
	提高设计质量	提高设计质量和效率	提高设计质量和效率
缺点	人力投入 成本高	项目风险大	设计人员要求高
	信息容易脱节	信息容易脱节	培训难度较大
是否推荐	否	否	是

D.2 桥梁正向设计

D.2.1 行业及地方信息模型构件资源库

(1) 三维构件库的建立

三维构件库涵盖了常见桥梁构件，如独柱墩、花瓶墩、门型桥塔、独柱桥塔等，为设计师提供丰富的设计资源，从而加快设计速度。三维构件库有助于确保设计的标准化，以满足项目或组织的特定标准和规范。通过为每个构件添加详细的属性和参数，设计团队可以更轻松地搜索、过滤和定位所需的构件。这提高了设计的准确性和一致性，减少了错误和重复工作。

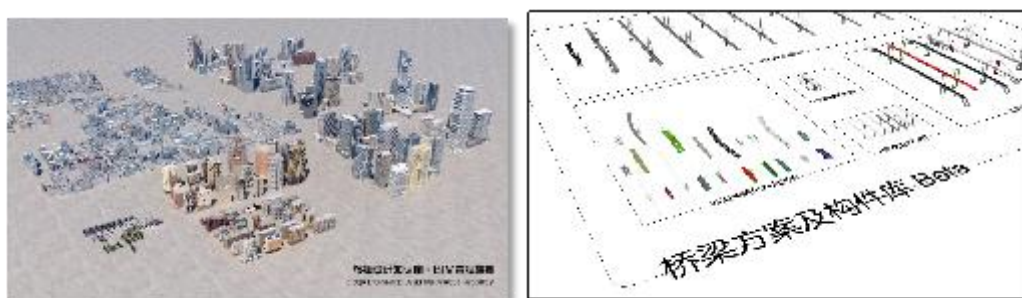


图 D.2.1-1 三维构件库

(2) BIM 项目资源库的建立

BIM 项目资源库是一个集中的数字存储空间，包括了项目的各个方面，从工程可行性研究、初步设计、施工图设计到施工服务，用于整合和管理所有与项目相关的数据、模型、构件和文档。通过建立 BIM 项目资源库，设计团队能够更有效地协作、提高生产力，确保项目的成功落地。此外，BIM 项目资源库是一个不断演化的平台，通过项目成果形成优势迭代，构建组织的核心竞争力。

(3) 参数化工具集的研发

参数化设计是一种基于规则和参数的设计方法，可以用于快速生成多个设计方案，快速响应优化设计，适应不同的项目需求。对研发的参数化工具按照功能划分，形成成套的参数化工具集，增强工具的复用性，减少设计过程中的重复性工作，提高设计质量和设计效率。

在开展正向设计前，需根据需要选择可复用的三维构件库、BIM 项目资源库和参数化工具集，即减少了重复工作，又降低错误率。另一方面，基于本项目的正向设计成果，可进一步完善三维知识库体系。

D.2.2 正向设计实施标准和信息安全要求

(1) 正向设计实施标准

桥梁正向设计实施前，应当明确桥梁正向设计的实施标准，以指导桥梁正向设计工作的开展。在开展设计工作前应明确正向设计和 BIM 应用的总体目标，并据此确定正向设计的实施标准。桥梁工程 BIM 信息模型的深度主要遵循“适度”的原则，在不同设计阶段应能反映不同的模型深度。信息模型主要包括两个方面的内容：构件的几何信息、构件的非几何信息。在进行信息模型建模规划时，应尽量在满足正向设计应用需求的基础上最大限度地简化模型的构件，明确信息模型的建模原则、拆分原则、模型精细度要求、几何信息深度和非几何信息深度。

在开展正向设计工作前，应先选择项目所需遵循的 BIM 标准，目前桥梁可以参考的标准包括国家标准。在建模前需结合国家标准、行业标准和项目所在地的地方标准确定项目级的正向设计建模标准，以保证模型的有效传递与共享。

表 D.2.2 国内桥梁 BIM 相关技术标准

序号	标准层级	发布/编制单位	标准名称	实施时间
1	国家标准	住房与城乡建设部	建筑信息模型存储标准	2022.1
2			建筑信息模型设计交付标准	2019.6
3			建筑信息模型应用统一标准	2017.7
6	行业标准	中华人民共和国交通运输部	公路工程施工信息模型应用标准	2021.6
7			公路工程信息模型应用统一标准	2021.6
9	地方标准	重庆市城乡建设委员会	市政工程信息模型设计标准	2018.3
10			市政工程信息模型交付标准	2018.3

根据项目特点，本项目采用的是地方标准：重庆市《市政工程信息模型设计标准》（DBJ50-T-282-2018）以及重庆市《市政工程信息模型交付标准》（DBJ50-T-283-2018）。

（2）信息安全要求

桥梁工程信息模型应符合下列规定：

- 1）基于模型单元进行信息交换和更新，并将各阶段交付物存档管理；
- 2）在模型交付审核时，宜借助协同管理平台保证信息模型不被编辑篡改，或在编辑时记录留痕；
- 3）保证信息模型的数据安全。

D.2.3 正向设计实施软硬件条件

（1）BIM 实施环境

伴随着市政工程行业信息化技术的全面推进，数智化成为科技赋能的新动力。设计师应改变传统的二维设计模式，从组织架构、硬件升级、BIM 人才培养、正向设计标准等方面

出发，构建良好的 BIM 实施环境。包括以下几个方面：

1) 设计平台轻量化

结合本项目的设计特点及专业协同设计要求，本项目基于 Rhino 软件，进行了前期的定制化二次开发，实现了三维模型与计算、出图、信息化集成软件间的高效流转，实现了设计信息的高效交互与有效传递。

2) 硬件配置更新迭代

传统 2D 工作模式下，CAD 对于电脑的配置要求不算高，企业硬件投入较少。本项目边界条件复杂，构件种类繁多，再加上 BIM 技术是基于完全的三维环境下进行设计，从建模效率和处理数据的能力上均提出了更高的要求，所以对电脑硬件配置的要求也是越来越高。在制定硬件配置更新方案时，充分利用和考虑云计算、云存储、云渲染等技术，并结合自身情况和企业的资源分配情况制定详细的硬件迭代更新方案。

3) BIM 人才培养

实施 BIM 环境离不开人，设计人员培训就是一件非常重要的事情。可以说企业对于人员的质量直接影响着后期的应用。首先，应合理安排培训时间，能够承受培训期间造成的时间损失。第二，BIM 技术需要一定的时间和经验积累，应注重项目的实操与实践。

(2) 软件环境

与目前普及应用的 CAD 技术比较，正向设计不是一个具体的软件，而是一种流程和技术。正向设计的实现需要依赖于多种（而不是一种）软件产品的相互协作。正向设计协作体系软件必须符合以下要求：

- 1) 能够保证工程项目信息的完整性，对不同的层次上的信息进行描述和组织；
- 2) 不同的应用能够根据它提取所需的信息，衍生出自身所需的模型，且能添加新的信息到模型，保证信息的可重复使用性和一致性。
- 3) 应该支持自顶向下设计，特别是从方案设计到设计变更全阶段的应用。
- 4) 相关的信息和一整套设计文档相互关联，实现了各专业的信息共享。修改或变更在协同工作平台上实现。

本桥桥塔造型独特，拉索垂度效应明显，锚拉板及索塔锚固构造定位复杂，因此 BIM 协同设计平台应具备空间造型、几何精确控制的能力。与此同时，本桥涉及专业较多，在设计过程中存在大量专业间的协调工作，应考虑信息的传递性与软件间的互通性。为顺利地完 成上述应用目标，本项目确定 R+GH+R 的协同设计平台，平台软件体系如图 D.2.3-2 所示。该平台充分发挥了 Rhino 的曲面造型能力，同时结合可视化编程插件 Grasshopper，以点、

线与数据的控制，快速地进行全桥结构构件的建模；最后通过 Autodesk Revit 为构件集成设计信息。该三维正向设计平台具备稳定性好、曲面造型能力强、易开发、可视化编程、轻量化且协同性能好等综合性优势。该 BIM 平台以专业级 3D 造型软件 Rhinoceros 为三维核心，结合自主二次开发的智能化效率提升设计系统，综合应用 Revit、Vray、Lumion、Fuzor、Midas、Abaqus 等软件，实现各软件之间的信息传递与模型交互，并依托 BIM 模型快速进行三维模型和设计图纸的交互。

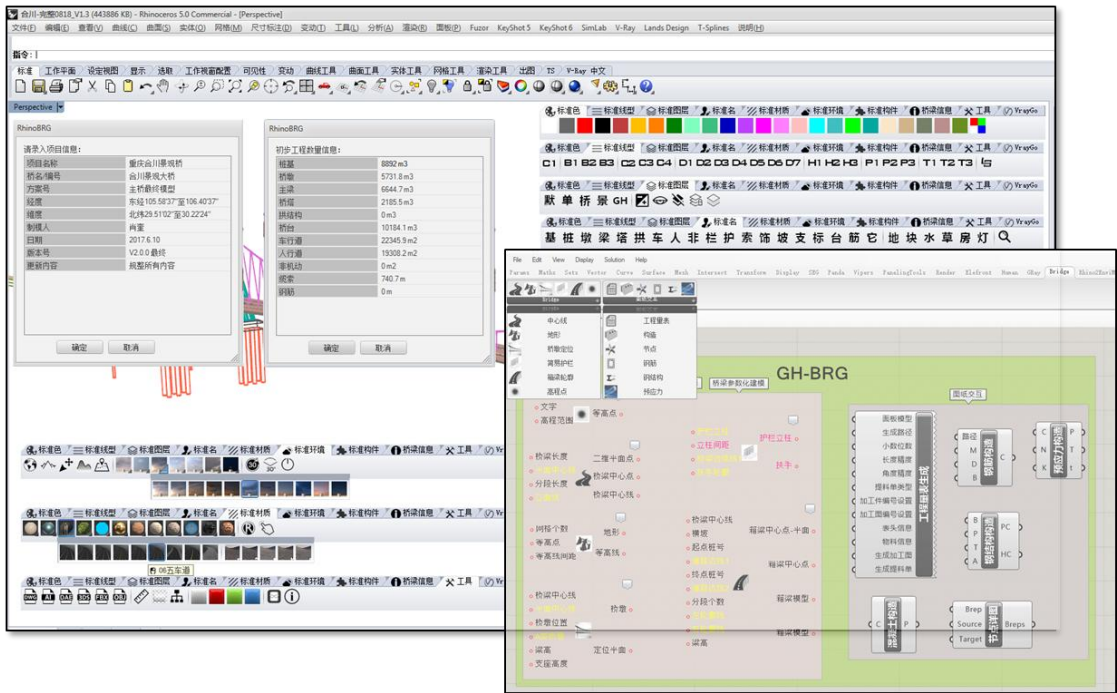


图 D.2.3-1 智能化效率工具

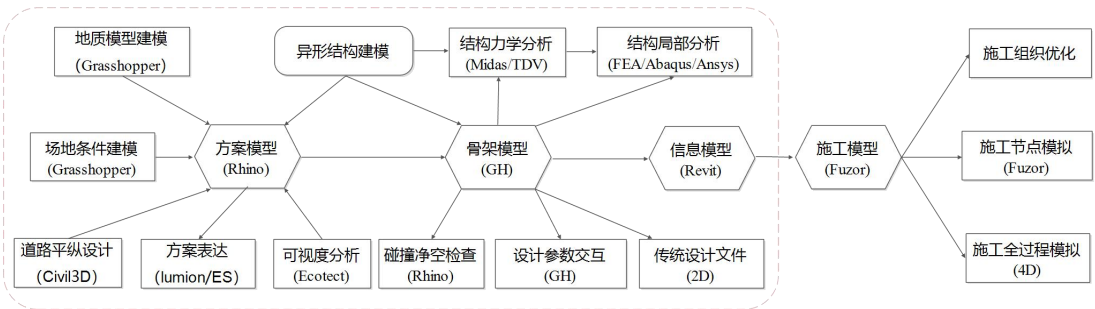


图 D.2.3-2 “R+GH+R”协同作业平台

在充分发挥“R+GH+R”中各软件优势的基础上，制定 BIM 建模标准，进而开展桥梁专业定制化的二次开发，为桥梁 BIM 实施提供更为完备、高效的解决方案。其协同工作思路为：

1) 在方案设计阶段，借助 Rhino 和 GH 进行桥梁方案的参数化调整和造型研究，可实时呈现方案效果便于沟通及抉择，大幅提升桥梁方案设计的效率；

2) 借助 GH 定义桥梁中心轴线的“基准控制线”，用于精确定位墩台、桥塔、主梁节段及锚碇等构件；

3) 基于参数化骨架模型，在 Revit 或 Midas CIM 中整合各专业模型，并在此几何模型的基础上批量为构件添加材质、配筋率等非几何信息，实现各专业的协同和信息共享。

表 D.2.3-1 软件环境

类型	软硬件名称	关键参数	应用环境
软件	架构	Bootstrap3.3.7/jQuery3.3.1 Spring Boot 2.0 MyBatis 3.5.0	用于智慧化运维平台的前端、后端及 ORM 设计
	数据库及接口	SQL Server 2017 Maven 3.6.0 基于 SOAP 协议的开放接口	用于智慧化运维平台的搭建
	BIM 正向设计	Rhino+GrassHopper+Revit	正向设计
	数智设计平台	项目管理及协同、族库管理、多专业在线合模等	具备任务派发、进度管理、信息推送等功能
	集成 BIM 模型	Autodesk Forge 云服务	BIM 模型云端化处理

此外，在 BIM 正向设计的多软件协作中，BIM 协同管理平台作为信息交互和任务协调的核心枢纽，其功能设计和数据安全性至关重要。为支持复杂工程项目的高效实施，BIM 协同管理平台应具备以下关键特性和功能：

1) 数据安全体系：平台需构建完善的数据安全体系，包括加密存储、网络传输加密以及数据访问的多层防护机制。同时，应具备异常行为监控和安全审计功能，确保数据在传输和存储过程中的完整性和保密性。

2) 角色权限管理：实现基于项目需求的角色分级权限管理，确保参与方仅能访问其职责范围内的模型数据及功能模块，从而避免信息泄露和权限滥用。

3) 三维审查流程：支持三维模型的在线审查功能，包括冲突检测、设计问题标注及问题追踪，确保设计团队能够实时发现并解决潜在问题。

4) 版本管理：平台应具有全面的模型版本管理功能，能够记录模型的变更历史，支持不同版本的对比和回退，保证设计过程的透明性和可追溯性。

5) 任务派发与进度管理：提供任务分配和进度跟踪功能，实现基于模型数据的任务可视化分解，明确各参与方的工作范围和时间节点，从而提高项目协作效率。

6) 模型可视化审查：支持三维模型的轻量化在线展示和动态操作，能够在多设备端运

行，提供便捷的模型浏览和标注功能，为项目参与者提供直观的设计反馈手段。

7) 信息推送与通知：集成信息推送功能，可根据任务节点和设计进展，向相关人员实时推送动态更新，确保设计协作的时效性和准确性。

8) 模型操控功能：台应具备基本的模型操作功能，包括剖切视图、属性查询、构件过滤和多视图同步等，使用户能够高效获取所需信息，进一步深化模型应用。

(3) 硬件环境

正向设计是基于三维的工作方式，对硬件的计算能力和图形处理能力提出了很高的要求。就最基本的建模来说，BIM 建模软件相比较传统的二维 CAD 软件，在计算机配置方面，需要合理协同的 CPU、内存和显卡配置。

1) CPU：即中央处理器，是计算机的核心，推荐拥有二级或三级高速缓冲存储器的 CPU。采用 64 位 CPU 和 64 位操作系统，对提升运行速度有一定的作用，大部分软件目前也都推出了 64 位版本。多核系统可以提高 CPU 的运行效率，在同时运行多个程序时速度更快，即使软件本身并不支持多线程工作，采用多核也能在一定程度上优化其工作表现。

2) 内存：是与 CPU 沟通的桥梁，关系着一台电脑的运行速度。越大越复杂的项目会越占内存，一般所需内存的大小应最少是项目内存的 20 倍。由于目前大部分用 BIM 的项目都比较大，一般推荐采用 8G 或 8G 以上的内存。

3) 显卡：对模型表现和模型处理来说很重要，越高端的显卡，三维效果越逼真，图面切换越流畅。应避免采用集成式显卡，集成式显卡要占用系统内存来运行，而独立显卡有自己的显存，显示效果和运行性能也更好些。一般显存容量不应小于 1G。

4) 硬盘：硬盘的转速对系统也有影响，一般来说是越快越好，但其对软件工作表现的提升作用没有前三者明显，但应定时做好与项目网盘的备份，以免数据丢失。

关于各个软件对硬件的要求，软件厂商都会有推荐的硬件配置要求，但从项目应用 BIM 的角度出发，需要考虑的不仅仅是单个软件产品的配置要求，还需要考虑项目的大小，复杂程度，BIM 的应用目标，团队应用程度，工作方式等。

本项目由于体量较大，边界条件复杂，需进行准确的模拟，故在硬件上采用了大内存和高性能的图形级工作站，配合高效、先进的云计算技术，能快速接入国外云计算超级计算机集群，实现智能联机与云端渲染，同时也能处理各类复杂计算情形，使得结构拓扑优化成为可能，极大地提升设计效率。

表 D.2.3-2 硬件环境

类型	软硬件名称	关键参数	应用环境
硬件	服务器	CPU: 8 核; 内存: 64GB; 实例类型: I/O 优化; 操作系统: CentOS 6.9 64 位; 弹性网卡: 1000M; 使用带宽: 20Mbps;	项目存储,用于多专业 协同数据的存储于分享
	云计算	炫云	用于特殊项目的云计 算与云渲染,提升设计效率
	高配置台式机	英特尔 I7 7700K 金士顿骇客 16G 单条×2 华硕 GTX 1080 8G	各专业模型创建及整 合, 720 全景制作, 效果图 及动画制作;
	移动终端设备	ISO/Android	BIM 技术的培训与推 广, 辅助项目技术沟通
	3D 打印机	Allcct 印客	桥梁构件(塔型、复杂 空间等)的推敲及优化
	虚拟现实	HTC Vive Pro	增强项目信息和传递 时的直观感受
	协同办公 投影仪	坚果(JmGO) L6_H(1080P 全高清 3500 流明)	便于三维协同设计、高 效沟通交流

D.2.4 正向设计成果及交付要求

正向设计成果包括信息模型和模型应用成果两方面。其中信息模型交付应包含正向设计说明书和 BIM 设计模型, BIM 设计模型的交付内容包括:

- ①桥梁信息模型: 应提供桥梁专业信息模型。
- ②综合协调模型: 应提供综合协调模型, 重点用于进行专业间的综合协调及完成设计优化分析工作, 其中包含地形信息的 GIS 模型。
- ③可视化模型及生成文件: 应提交基于信息模型的表示真实尺寸的可视化展示模型, 及其创建的效果图、场景漫游、交互式实时漫游虚拟现实系统、对应的展示视频文件等可视化成果。
- ④由信息模型生成的二维视图: 该阶段宜通过信息模型直接生成总平面图、立面图等, 对于比较复杂的剖面、立面以及大样图等可通过二维方式进行补充。

桥梁工程设计阶段模型应用的交付物及要求宜符合表 D.2.4 的规定。

表 D.2.4 设计阶段模型应用交付物及要求

序号	应用点	成果清单	交付内容	格式	CL100	CL200	CL300
1	设计方案比选	方案比选报告	从项目主体结构、功能性、经济性、景观协调性、碳排放等方面进行设计方案比选，形成方案比选报告。	.docx 或.pdf	●	●	—
2	设计质量辅助校核	设计质量校核报告	包括碰撞检查、净空分析与优化内容。	.docx 或.pdf	—	●	●
3	设计信息交互	设计图纸、工程量表、碳排放清单、设计参数表等	基于模型交付的图纸、工程量、碳排放清单、高程坐标等设计成果。	.dwg 和.pdf	●	●	●
4	力学性能分析	信息模型辅助力学性能分析应用报告	包括信息模型计算交互和力学性能分析应用报告。	.docx 或.pdf	—	●	●
5	仿真应用	施工期交通组织仿真分析报告	能够充分表达施工期间交通组织方案的图片文件和三维漫游视频。	.jpg 和.MP4	●	●	●
		可视化分析报告	复杂施工节点、重要施工工序和成桥三维漫游等。	.jpg 和.MP4	—	—	●

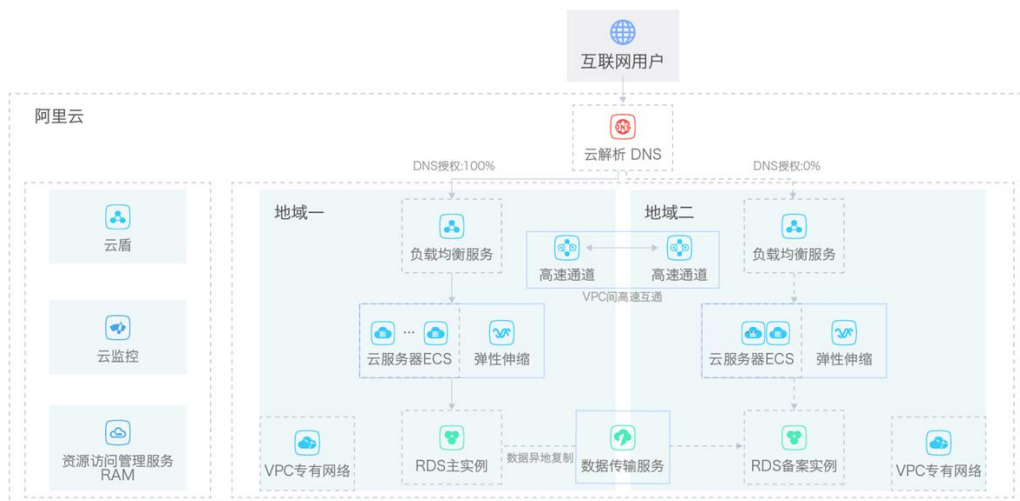
注：1 表中“●”指“应包括的信息”，“—”指“可不包括的信息”。

2 鼓励采用和交付其他创新、创效的模型应用。

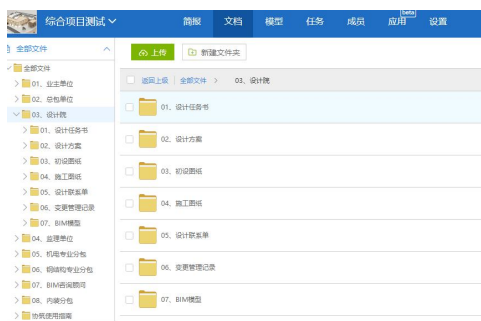
D.2.5 正向设计协同

应用场景一：图纸、模型、文件资料的集中安全管理，数字化交付

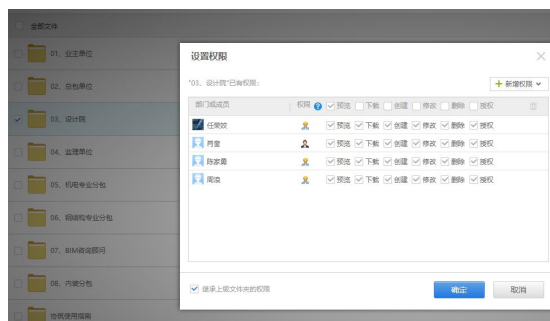
资料分类整理，二维码高效安全共享，可用于积累企业设计知识库，云端安全存储项目资料，可控共享，避免机器损坏导致项目资料丢失问题；异地多重备份，发生极端情况可安全恢复数据；加密安全传输协议，防止恶意窃取。为保持数据的完整性和唯一性，平台内可进行版本的自动管理，保证各方数据一致性。



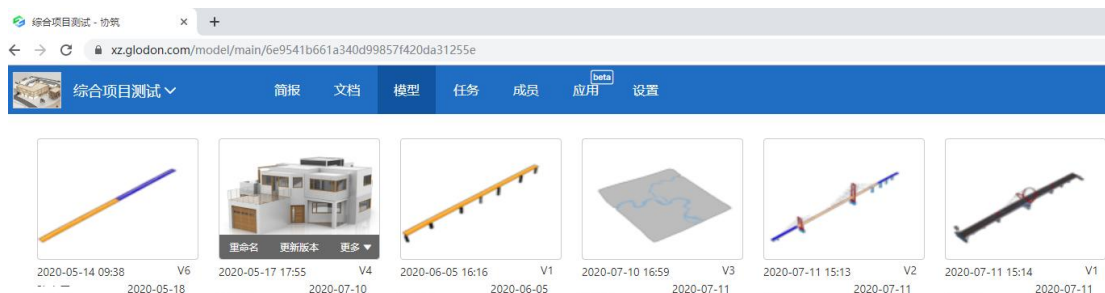
a) 云端数据存储



b) 文档管理



c) 权限设置



d) 自动版本管理

图 D.2.5-1 文档集中安全管理

应用场景二：出差或施工现场随时随地查看和分享文件

随着驻地办公或者施工现场需要查看和分享文件需求加大, 远程办公逐渐成了未来的必然趋势, 这也对远程协同设计平台提出了更高的要求。该协同平台在远程进行办公时无需安装专业软件, 只需一个网页浏览器就可以在线浏览 50 余种专业格式文件。

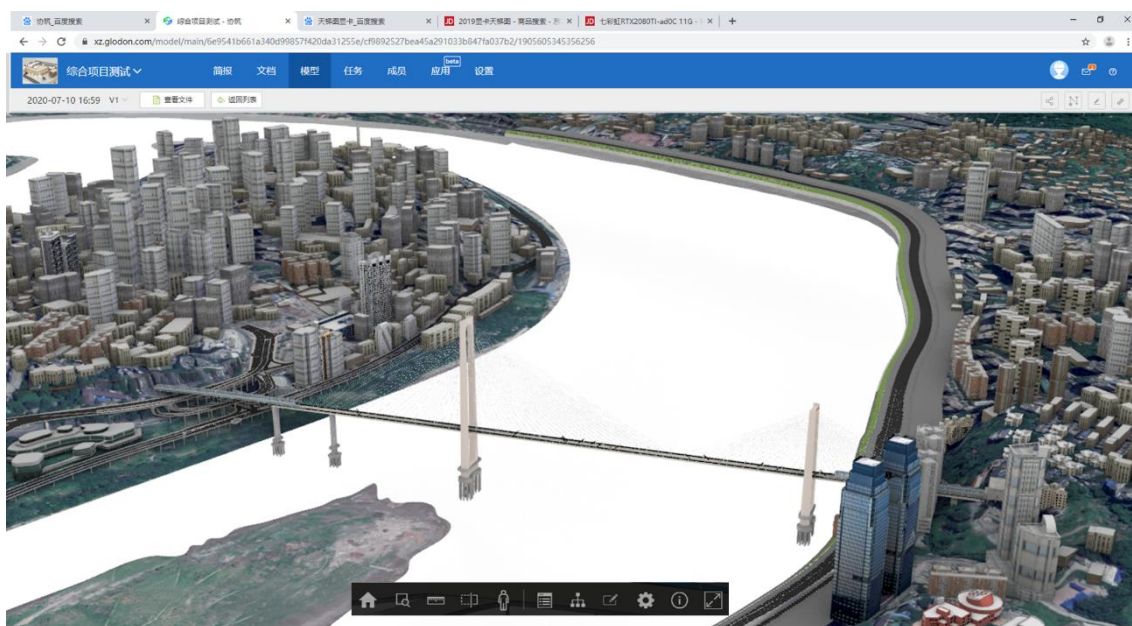


图 D.2.5-2 网页端模型在线浏览

随着网络科技的进步，工作模式逐渐变得开放化和自由化。越来越多的设计师越来越需要面临移动办公的需求，平台提供移动端 APP、微信小程序等功能，可随时随地看图、查阅模型，设计师可通过分享二维码，快速进行桥梁结构构造细节的沟通，项目技术负责或校审人员可通过移动端扫码查看文件，高效沟通设计问题。

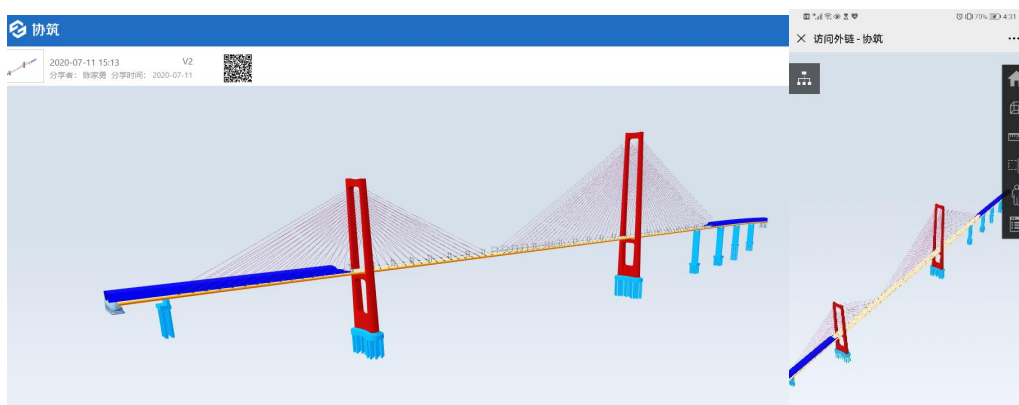


图 D.2.5-3 网页端模型移动端应用

应用场景三：基于 BIM 模型的设计成果可视化沟通

基于 BIM 模型，可在线查阅三维的可视化局部构造细节，进行高效沟通。可进行多模型版本的在线对比，直观了解模型的变更，进行多专业模型在线集成浏览可视化识别冲突，模型构件可与图纸、技术文档、现场施工照片、设计质量标准等文件进行关联。

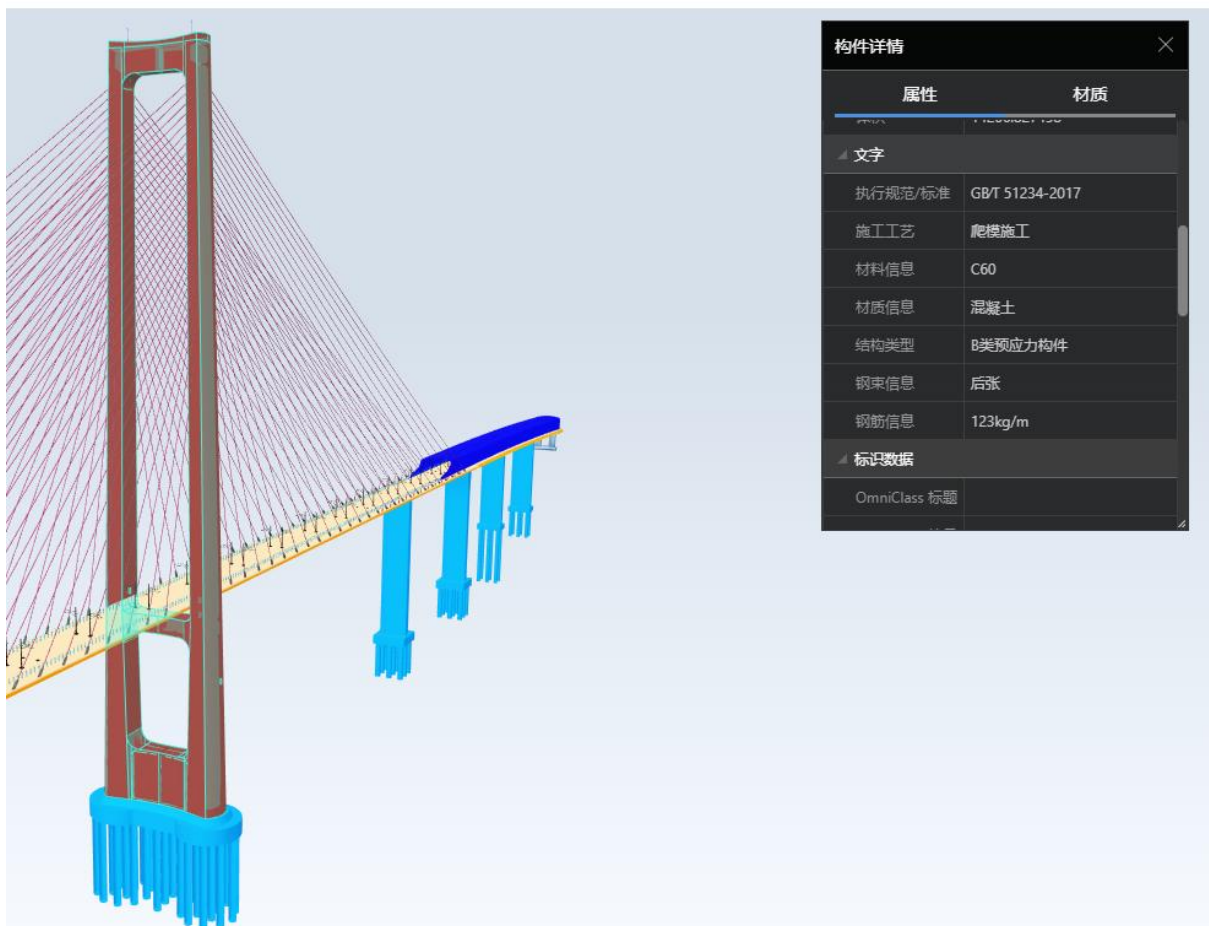


图 D.2.5-4 模型构件信息

应用场景四：设计、施工质量问题的沟通和解决，闭环管理

协同平台上提供模型在线批注功能，工程师可在模型中直接对发现的问题进行在线的批注，平台将自动截图并存储相关视图，发现的问题可通过发起任务的方式反馈给设计师，设计师可实时更新，并追踪解决，并可导出问题报告。

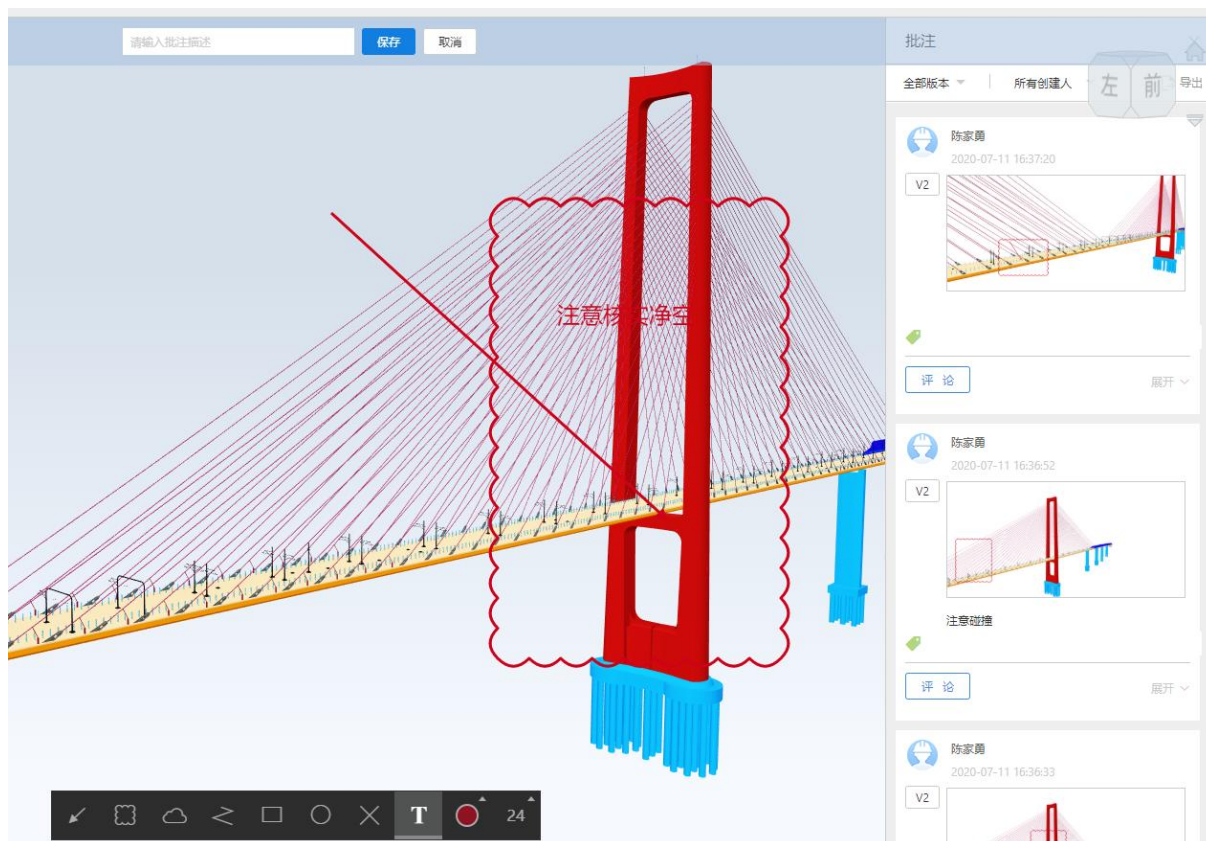


图 D.2.5-5 在线批注协同

基于上述协同设计平台的应用，三维协同设计平台应包含以下功能：

- 1) 内置相关的设计标准和业务流程
- 2) 设计和应用过程中的用户管理
- 3) 设计内容和相关信息的授权管理
- 4) BIM 实施流程管理，质量、进度、成果发布等
- 5) 相关参与放的数据共享管理
- 6) 交付成果的生成与交付管理、成果的版本管理
- 7) 项目信息的归档与再利用管理
- 8) 分布式异地协同
- 9) 项目信息分析、统计和利用、辅助管理和决策。

D.2.6 三维模型搭建

(1) 场地建模

场地是 BIM 设计过程中的重要空间边界条件，需要结合 GIS 地理信息系统进行设计，以便于对场地的地形条件、交通路线和设施、建筑群落分布等对于桥梁设计的影响做分析，有效弥补传统设计场地分析中定量分析不足、主观因素过重、无法处理大量数据信息的不足。

1) 收集测量勘测数据

BIM 所用 GIS 地理数据主要包括：CAD 地形图、倾斜摄影、城市建筑群分布数据等。其中，CAD 地形图数据又分为纯二维、二三维混合、三维几种类型，并且冗杂了许多重复、奇异的无效数据，这些信息的优化处理会在下面 3) 节中进行说明；由于一些限制因素，本次设计未测绘倾斜摄影数据；建筑群分布数据主要指的是建筑轮廓数据，主要是.shp 格式，记录了城市建筑分布布局及高度信息，同样需要在 GIS 智能工具中进行处理。

2) 根据项目基点设定场景模型的基准

为满足设计的便利性和项目协同，需要明确场地建模的基准，主要包括 A) 启用桥梁 BIM 标准模板 B) 绝对世界坐标基准点 C) 相对设计基准点 D) 基于相对设计基准点确定的带角度偏转的工作平面（简称正交设计平面）。

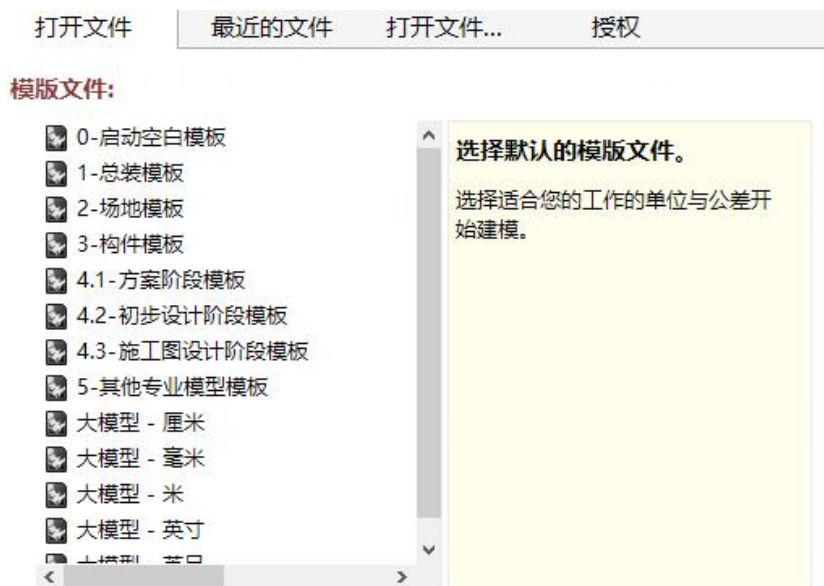


图 D.2.6-1 桥梁正向设计模板库

要特别说明的是，由于绝对坐标的数值非常大（十万、百万制），以 Rhino 举例来说，如若以绝对坐标来建模，势必造成模型的显示和曲面处理、GH 数据处理会报错，因此，需将数据源放置在绝对坐标处并置于相应管理图层，要使用或是更新了的的数据平移（Z 值不变）到新坐标原点即可，所有模型的逻辑关系都在新坐标体系完成；正交工作平面主要是为方便桥梁设计，一般取桥梁空间线上较为重要、固定的点作为基准点和角度基准，譬如主塔、主跨中心等等。

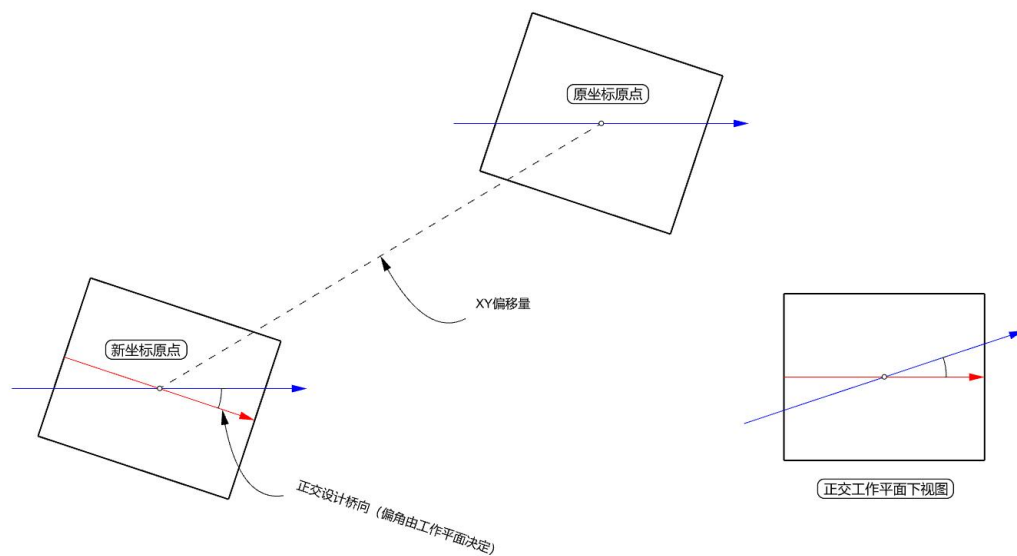


图 D.2.6-2 桥梁坐标系转换原则

3) 对 GIS 地理数据进行预处理

首先，对于地形 CAD 数据，由于没有统一制图标准，因此数据一般都比较混乱，需要对数据做一定的预处理，以便于 GIS 智能工具能够读取有效数据，有效数据主要为带高程信息的平面或空间的点和数据，其他重复、冗余的、奇异点线（过高过低点线）均作为参照数据保存。

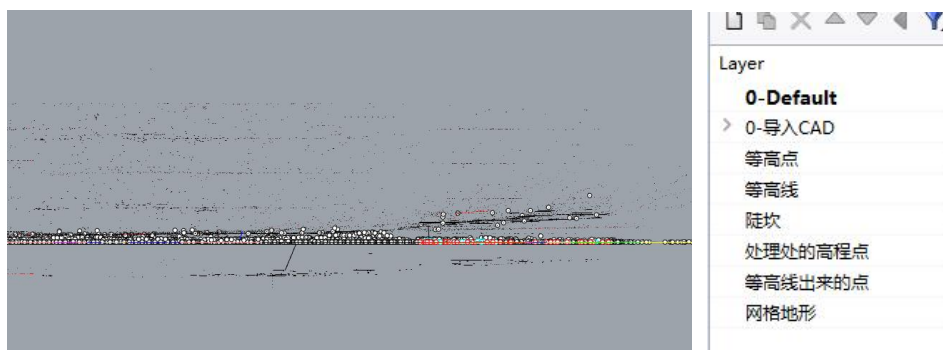


图 D.2.6-3 GIS 地理数据处理

对于城市建筑分布数据，通过 GIS 软件 ArcMap 对重庆市区.shp 数据进行处理，生成 GIS 智能工具的数据源格式以备后续使用。

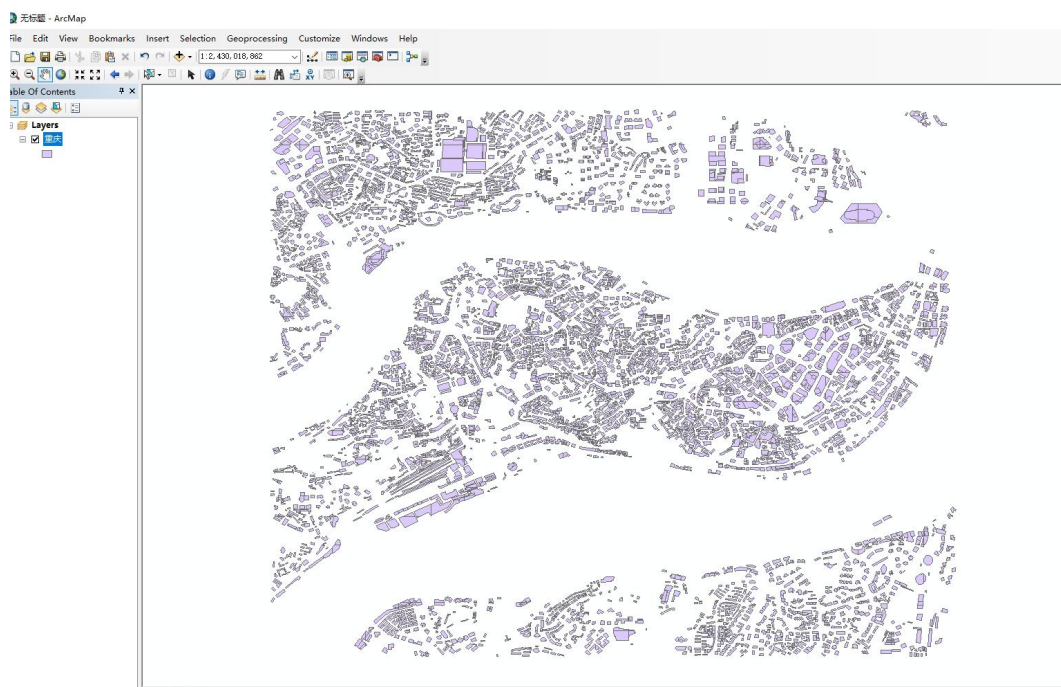


图 D.2.6-4 场地环境预处理

3) 利用 GIS 智能工具快速生成设计场景的地形地貌

首先，对于场景地形模型，需要区分为“内-中-外”层，其中内层和中层为较为精准的测绘数据或倾斜摄影数据生成的地形，外层为体现城市空间大环境的背景之用，以使 BIM 场景表现更加真实，由于不同的数据源的问题，比如谷歌地形高程数据和测绘数据之间有误差，因此需要各层间进行曲面衔接处理，以使得过渡更加自然。

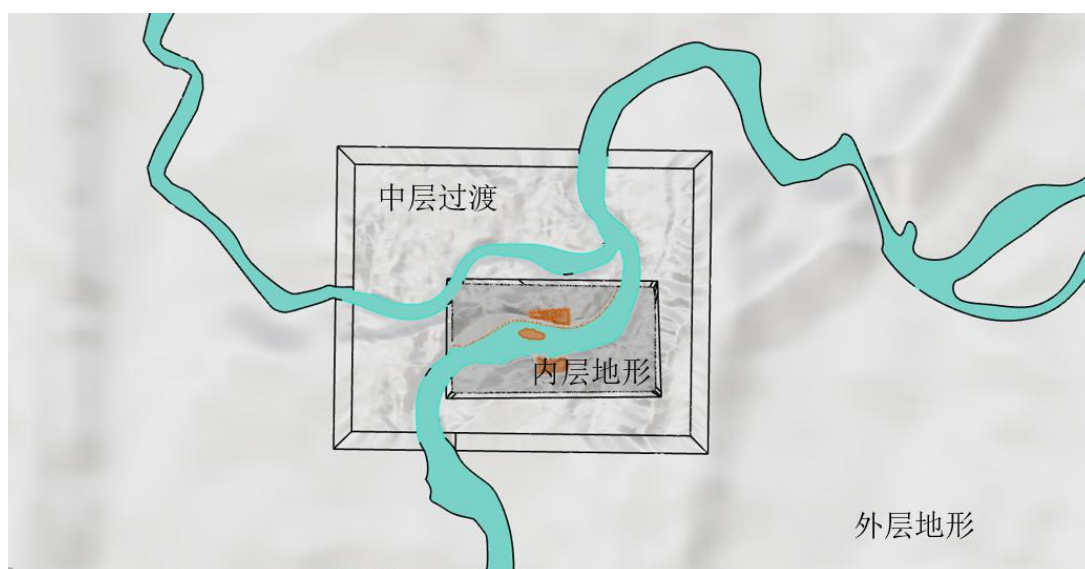


图 D.2.6-5 地形曲面分层级建模

将前面预处理过的点线数据导入到场景模型之中（主要为点线），如图所示。

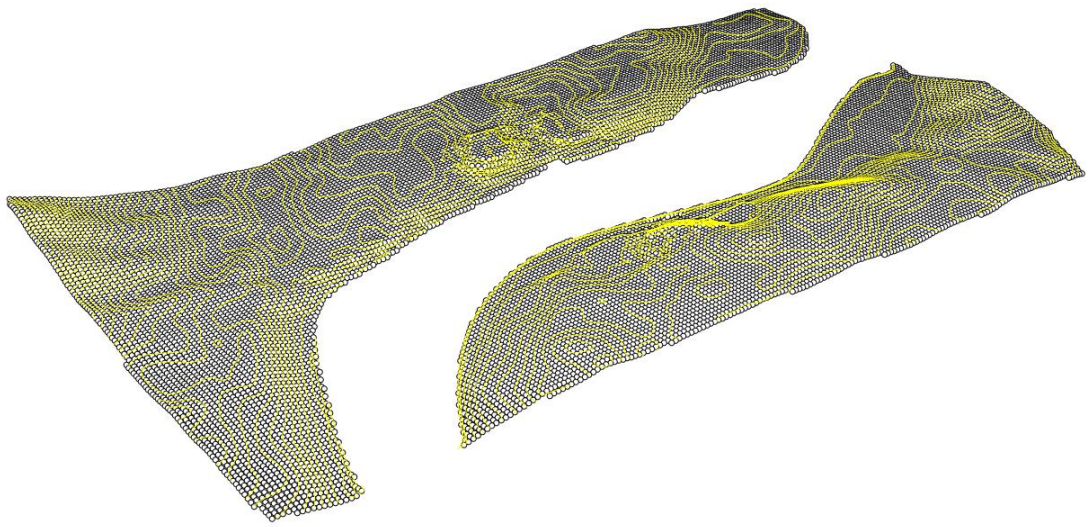
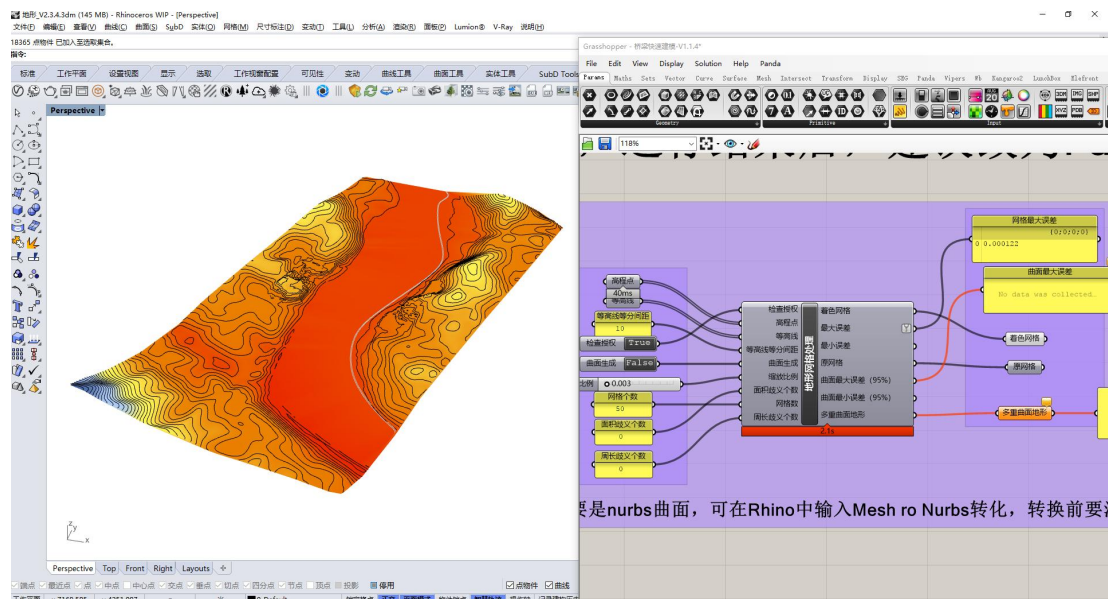


图 D.2.6-6 地勘数据生成地形曲面模型

应用基于 Grasshopper 开发的 GIS 智能工具进行地形生成，并将卫片地貌根据定位拓扑到改地形之上，即可得到整个设计场景的地形地貌模型。对该模型进行复核、修正后即完成了该步骤。



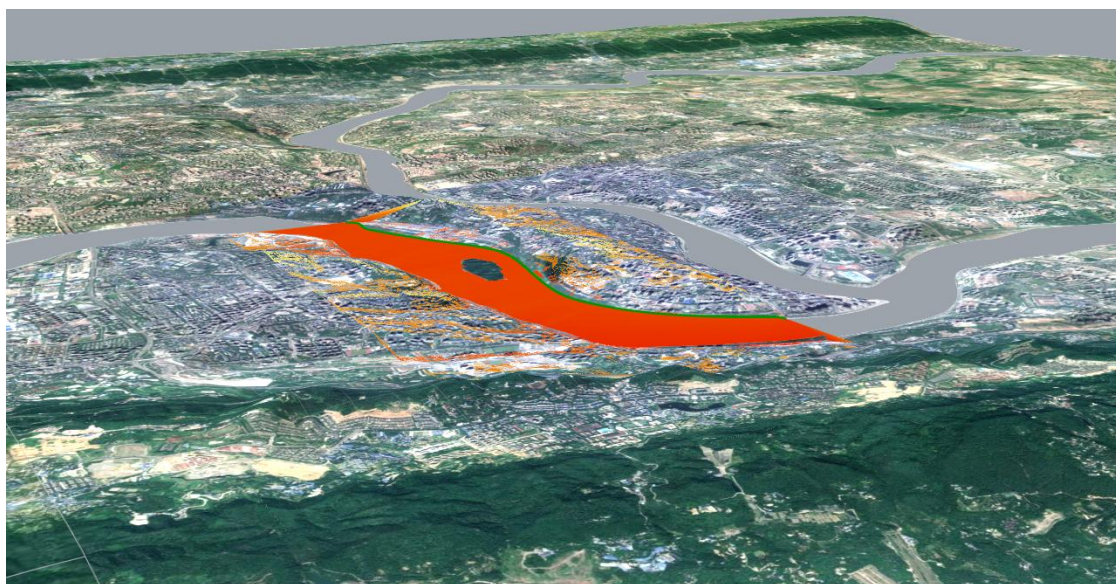


图 D.2.6-7 地形曲面性能分析

4) 分层级完善地物等场景细节

设计场景的地物主要包括桥梁周边建筑及交通设施，譬如：立交、隧道、步道、道路、桥梁、交通信号设施等，这些地物均基于数据进行三维建模，合成于整体场景，放置在相应的图层进行管理。同传统的 CG 类 3ds Max 处理场景不同，Rhino+GH 在处理数据准确性更强，后期更改修正效率更高。

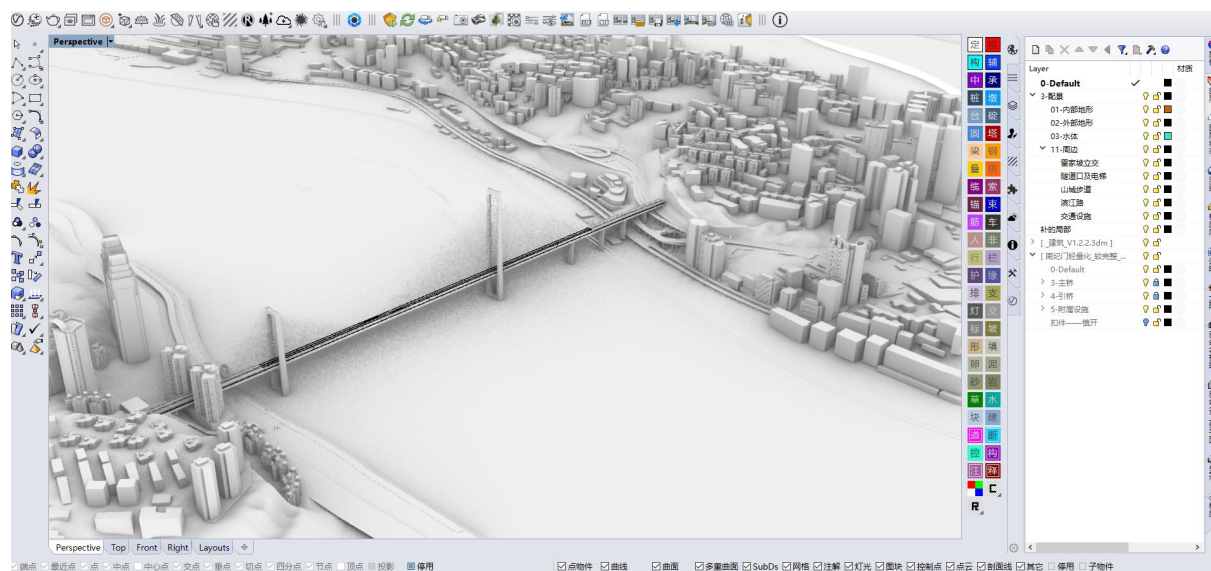


图 D.2.6-8 场地模型

场景中的建筑，由于 shp 文件转换的模型为同一平面，需要应用 GIS 智能工具将其转空间上的建筑群落，方法为将建筑群落“流动”到对应的地形曲面之上，便生成了场景中的城市建筑群的环境。

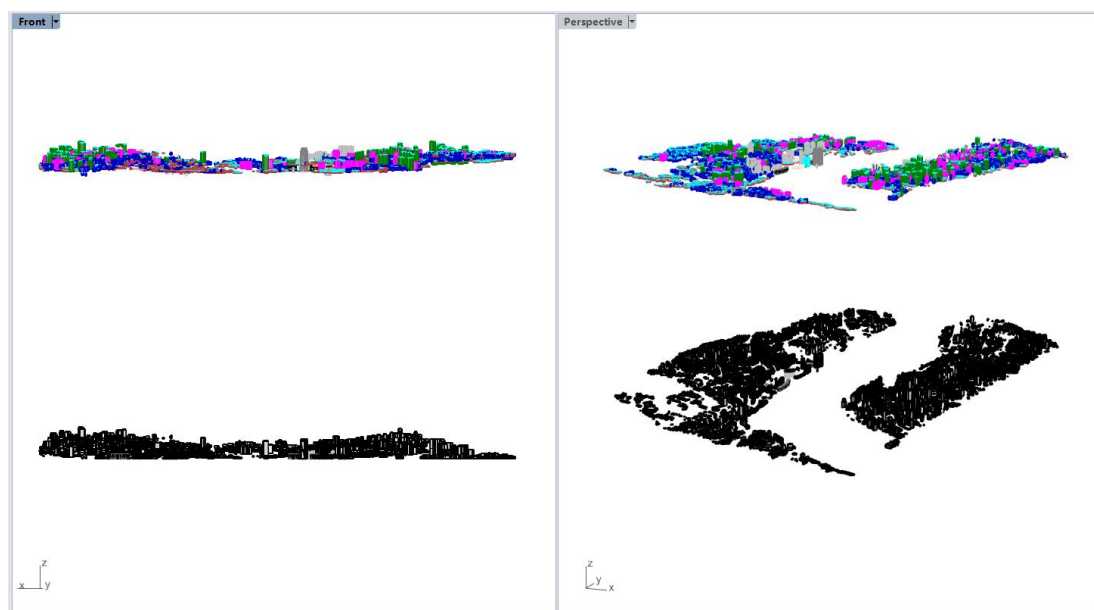


图 D.2.6-9 多视图场地分析模型

5) 规范场景模型作为设计基准并归档

在完成上述环节之后，需要对场景模型文件进行梳理，主要包括：重复、冗余元素的清理、图层的重新规整和管理、再次核查是否使用了标准模板、图块是否规整到了正确图层等等。

然后，将该场景模型命名为_地形_V[版本号]，放到指定项目目录即可，该模型文件将作为方案设计、BIM 设计的重要参照文件。

(3) 桥塔建模

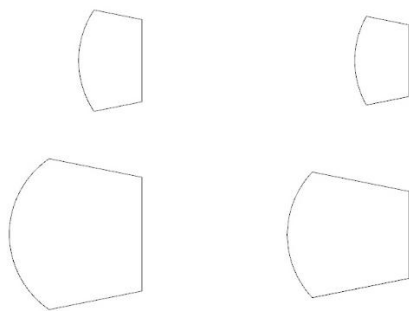
1) 桥塔基本信息

P2 南桥塔为左右两个塔柱和上、中、下三道横梁组成的门型框架结构。上塔柱(索塔锚固区段)标高范围 264.410~319.410m 塔肢范围采用 C50 钢纤维混凝土（钢纤维含量 50kg/m³），其它部分均采用 C50 混凝土。塔柱及下横梁为钢筋混凝土结构，上横梁及中横梁为预应力混凝土结构。

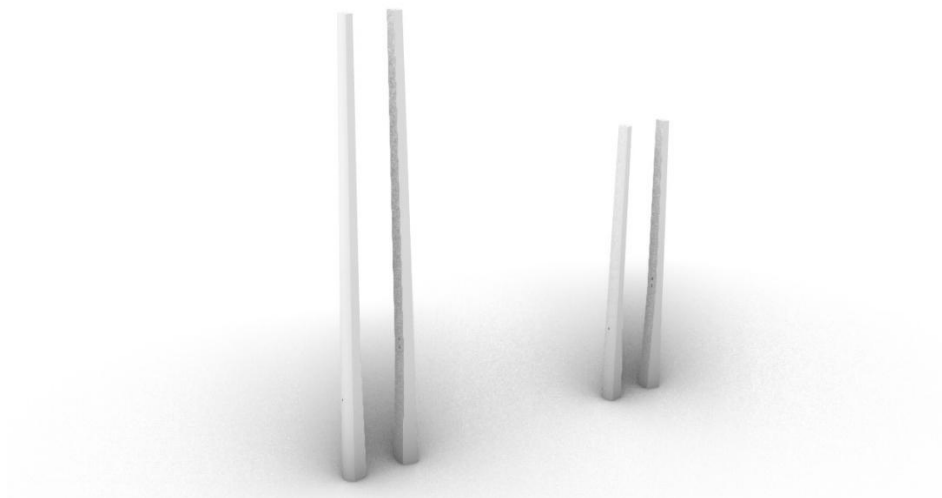
塔柱横向分两肢，塔柱截面采用四边形空心薄壁普通钢筋混凝土结构，除外侧为半径 R=7.25m 圆弧外，其余边均为直线。上塔柱标准段除外侧圆弧边壁厚为 80cm，其余三侧壁厚均为 120cm，下塔柱四侧壁厚均采用 120cm。

2) 桥塔结构建模

步骤一：塔柱属于竖向构件，从顶端到底端，截面宽度成规律变化，构成塔柱上小下大的形态，并在上、中、下塔柱采用不同的壁厚。基于塔柱的几何变化规律，采用参数化建模方法快速建立塔柱竖向杆件。



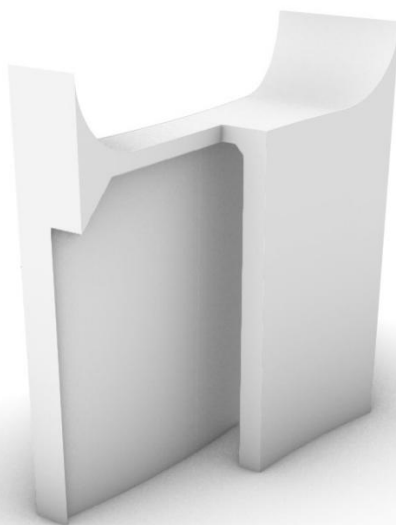
a) 塔柱上下端断面图



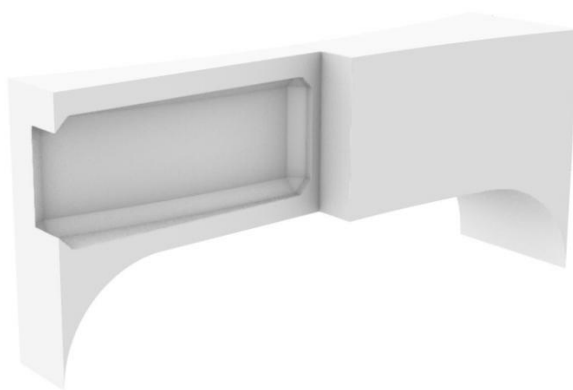
b) 塔柱三维图

图 D.2.6-10 桥塔塔柱建模

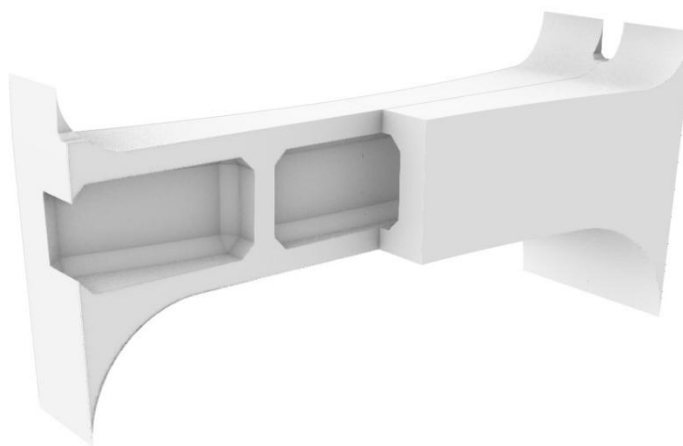
步骤二：基于上、中、下横梁的构造设定原则，单独通过不同的宽度，壁厚、以及与塔柱的顺接关系建立横隔板的三维模型。



a) 下横梁模型

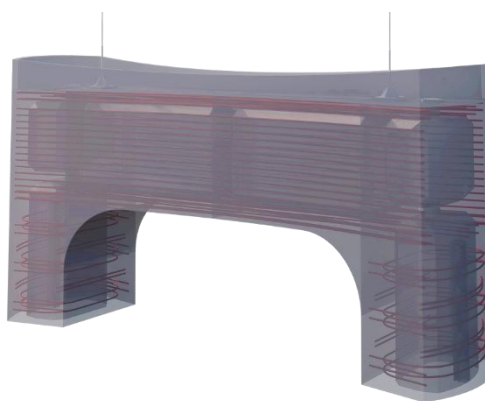


b) 上横梁模型



c) 中横梁模型

图 D.2.6-11 桥塔横梁建模



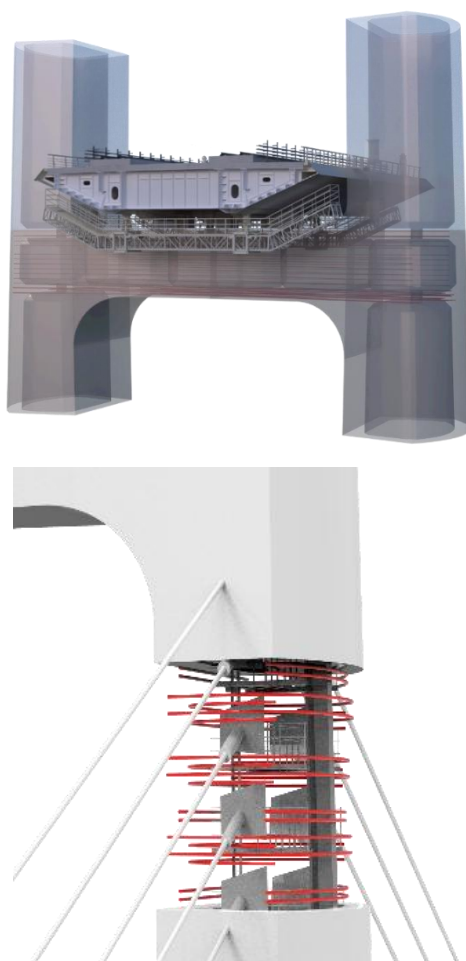
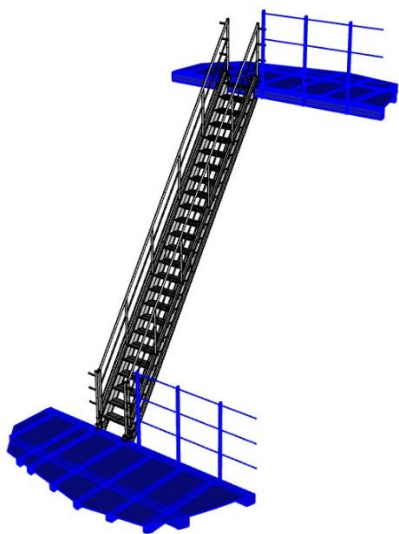


图 D.2.6-12 桥塔预应力体系建模

步骤三：建立桥塔塔内爬梯和检修平台的族库模型，根据不同平台的标高位置，将平台定位到相应的标高平面，再通过长度适应爬梯连接各类平台，借助碰撞检查，确定检修平台和爬梯的空间关系，对存在碰撞的情况进行局部调整，完成检修平台及爬梯的设计及三维模型。



a)斜拉索锚点检查平台



b) 斜梯及休息平台



c) 竖直爬梯

图 D.2.6-13 塔内检修爬梯平台建模

步骤四: 在几何模型的基础上, 借助自主研发的插件将 Rhino 几何模型快速交互给 Revit 族文件, 在族文件中添加必要的结构非几何信息, 最后根据定位信息进行 Revit 族文件的批量定位, 完成桥塔的建模。

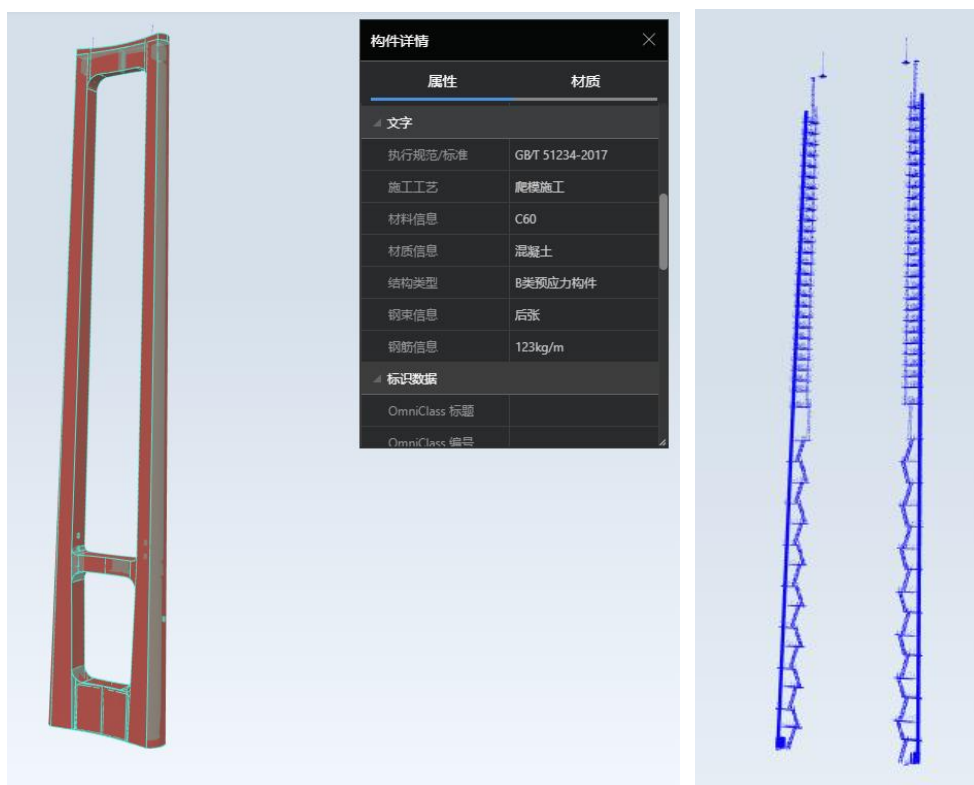


图 D.2.6-14 桥塔信息化模型

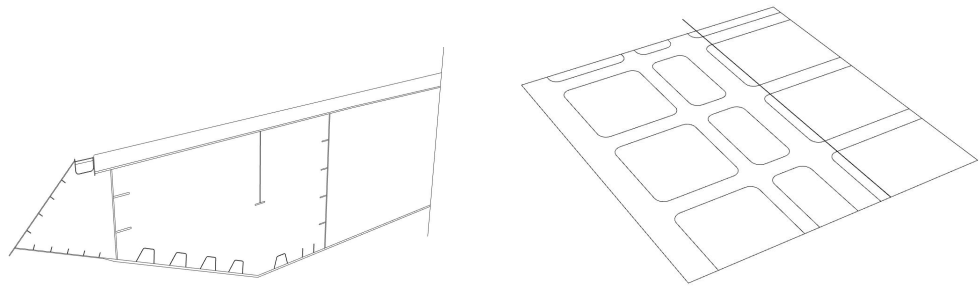
(4) 主桥主梁建模

1) 主梁基本信息

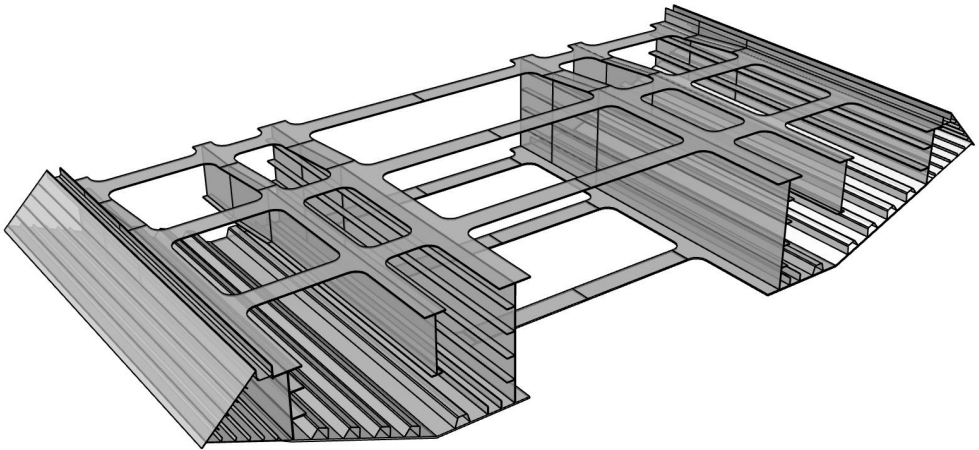
据线路总体布置，除 A0 桥台位置部分区域位于 2‰的纵坡段外，钢主梁其余位置均位于 1.5‰的单向纵坡段。钢主梁全长 1004.1m，中心线处高度 2.801m~2.981m（混凝土桥面板底缘至钢梁底板内缘），采用分离式双箱的截面形式，钢主梁全宽 23.6m。

2) 主梁结构建模

步骤一：主梁纵向构件由顶板、底板、腹板、加劲肋、轨道加劲梁、风嘴等组成。基于主梁的控制截面及纵向控制三维控制边线，采用参数化建模方法快速建立主梁纵向杆件。



a)纵向构件平面及断面图



b) 纵向构件三维图

图 D.2.6-15 钢主梁纵向杆件建模

步骤二：基于横隔板的初期构造设定原则，按照标准参数化族库的方式建立建立横隔板的族库，通过宽度调整自适应建立横隔板的三维模型。

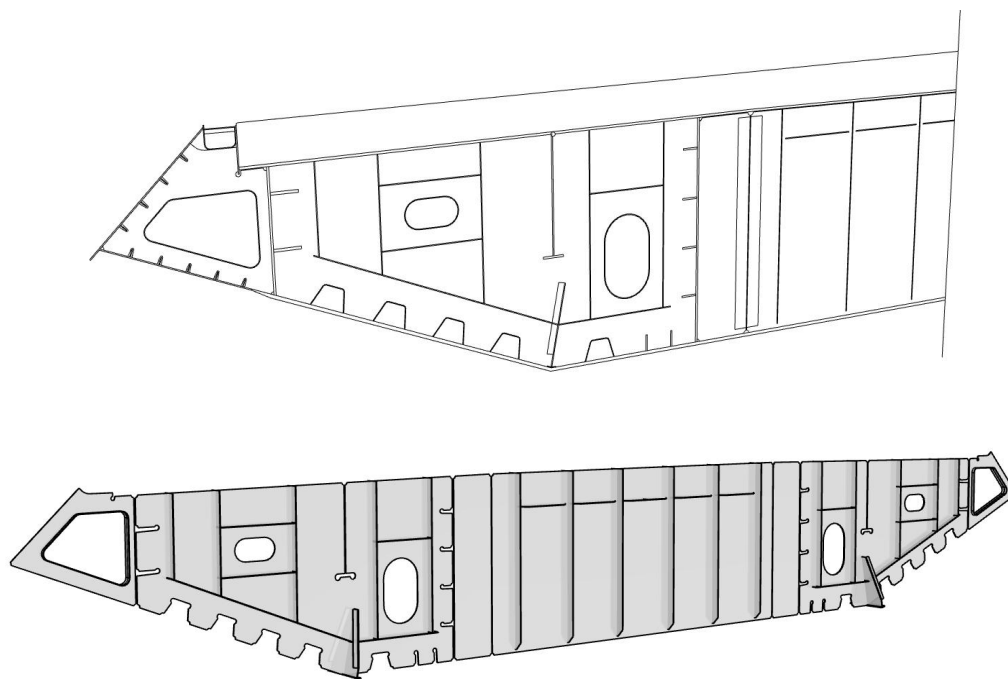
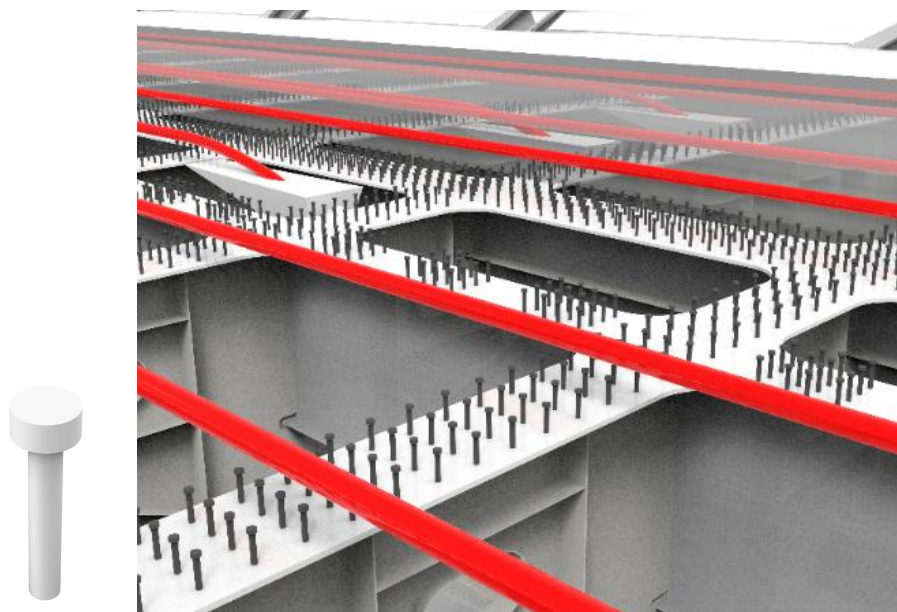


图 D.2.6-16 钢主梁横向杆件建模

步骤三：建立剪力钉的族库模型，根据剪力钉的平面初步布置将剪力钉放置于钢桥面板上，借助碰撞检查，确定桥面板预应力导管与剪力钉的空间关系，对存在碰撞的情况进行局部调整，完成剪力钉的设计及三维模型。



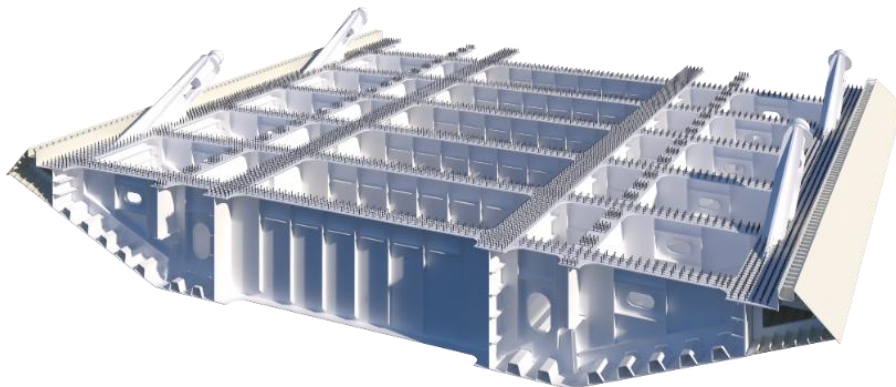


图 D.2.6-17 主梁剪力钉建模

步骤四：按照预制板、现浇带、预应力锚固齿块的顺序逐步完善桥面板模型，模型建立时应充分考虑施工步骤的划分，便于对施工过程的可视化模拟及控制控制。

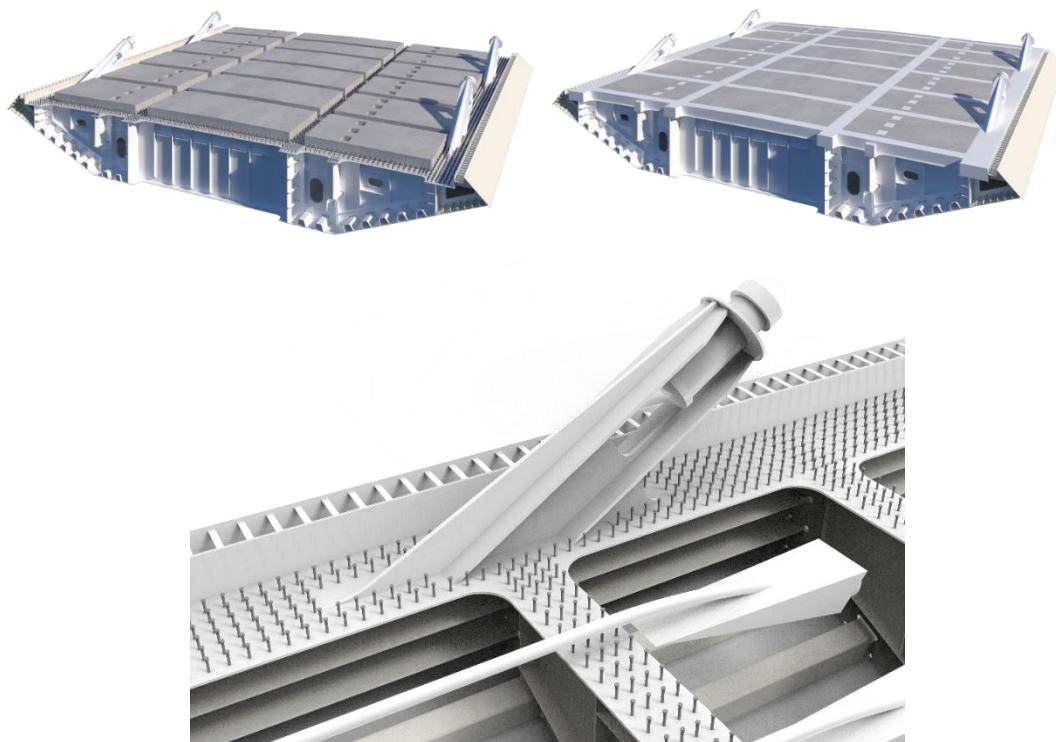


图 D.2.6-18 主梁桥面板建模

步骤五：在几何模型的基础上，借助自主研发的插件将 Rhino 几何模型快速交互给 Revit 族文件，在族文件中添加必要的结构非几何信息，最后根据定位信息进行 Revit 族文件的批量定位，完成主梁的批量建模。

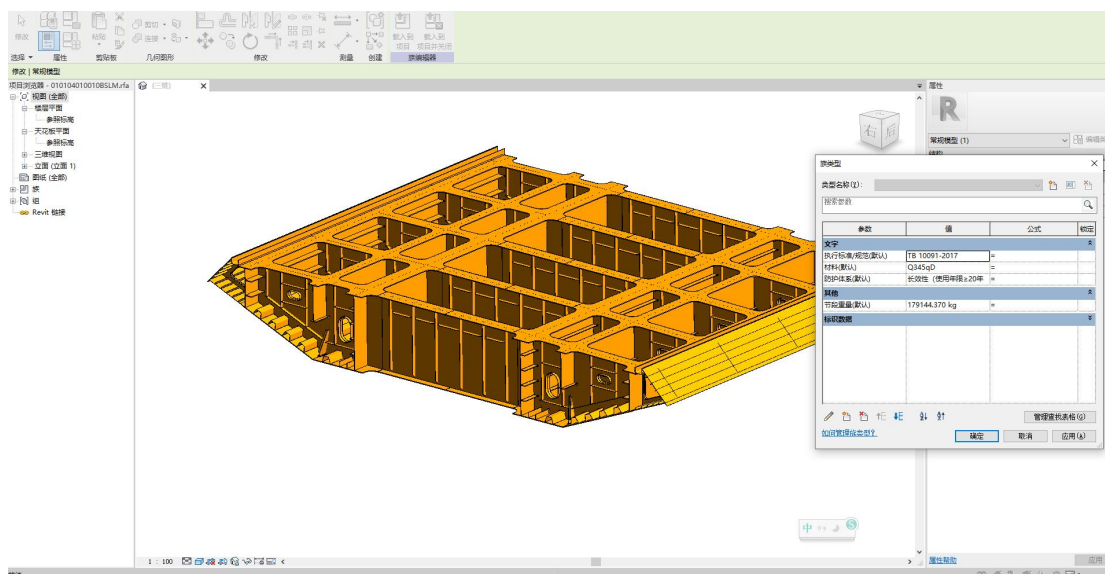


图 D.2.6-19 结构非几何信息添加

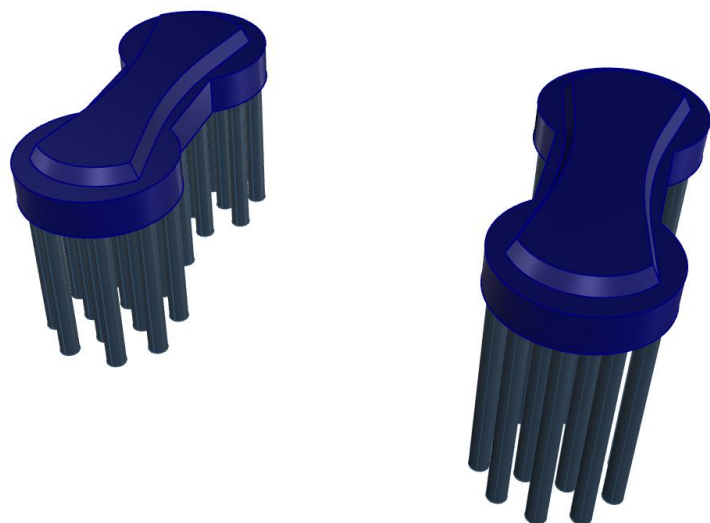
(5) 桥墩及基础建模

1) 桥墩及基础基本信息

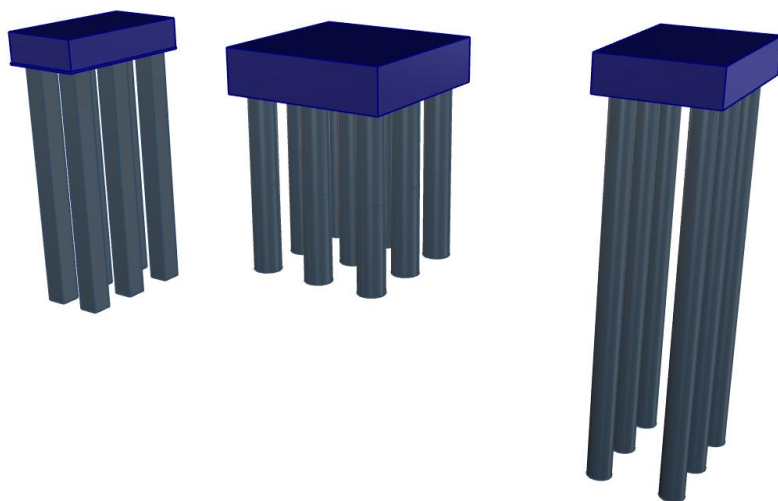
P1 墩为主桥辅助墩，墩高 4.5m，墩柱为实心矩形板墩，截面尺寸为 2.5m(顺桥向)×13.0m(横桥向)。P4 墩为主桥辅助墩，墩高 63m，墩柱采用八边形倒 R=50cm 圆角空心薄壁形式。P5 墩为主、引桥交接墩，墩高 58m，墩柱采用八边形倒 R=50cm 圆角空心薄壁形式。P6/P7 墩为引桥中间墩，墩高 40m，墩柱采用八边形倒 R=50cm 圆角空心薄壁形式。A0 桥台采用重力式 U 型桥台接扩大基础，桥台台身全宽 26.5m，全长 8.245m，高 6.496m(不含基础)。桥台基础采用扩大基础，设两级台阶，基础总厚 2m。A0 桥台与线路中心线正交布置。A8 桥台采用双柱式轻型桥台接扩大基础，桥台台身全宽 20.5m，全长 6.5m，高 11.97m(不含基础)。桥台基础采用扩大基础，基础总厚 2m。A8 桥台与右线路中心线正交布置。

2) 桥墩及基础建模

步骤一：对于基础，主要是竖向的圆桩或者方桩，承台也是简单几何构造，矩形或哑铃型，因此，可以借助参数化建模手段，快速通过参数设置进行三维模型的搭建，并可随意根据设计意图进行调整。



a) P2、P3 桥塔基础



b) 桥墩基础

图 D.2.6-20 桥墩基础建模

步骤二：对于桥墩这种竖向构件，根据各墩的高度尺寸，结合不同的截面形状，亦可以非常便捷的采用参数化建模手段，快速便捷的搭建和调整桥墩的三维构型，并根据受力和外观进行直观的调整。

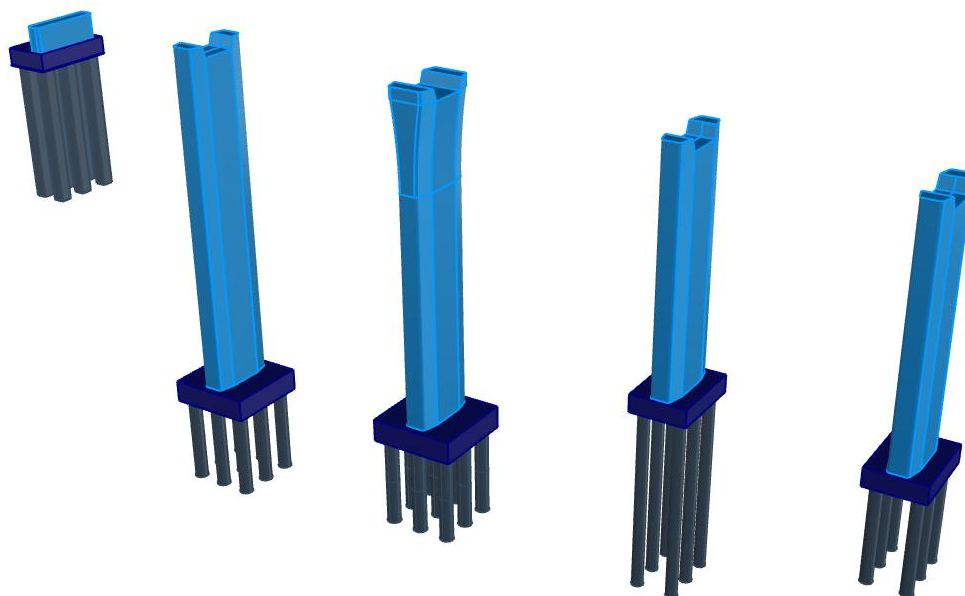
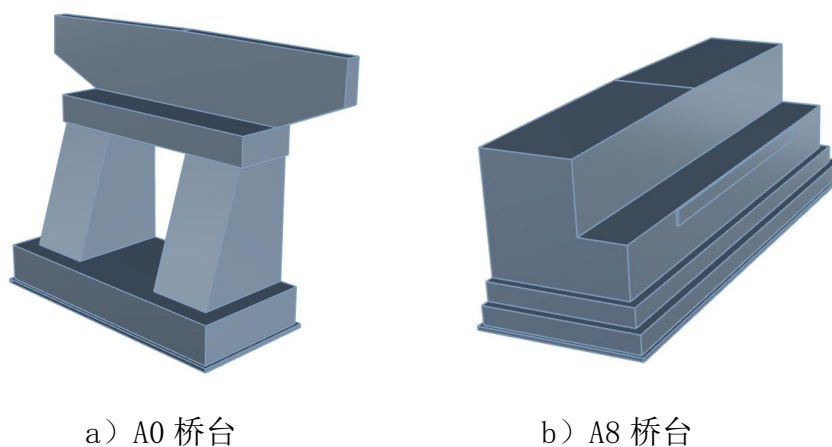


图 D.2.6-21 桥墩结构建模

步骤三：对于桥台这种高宽尺寸相近的块形构件，根据设计需要，进行不同尺寸的多面体设置，或者通过线、面、体的拉伸组合，亦可通过建模工具快速搭建。



a) A0 桥台

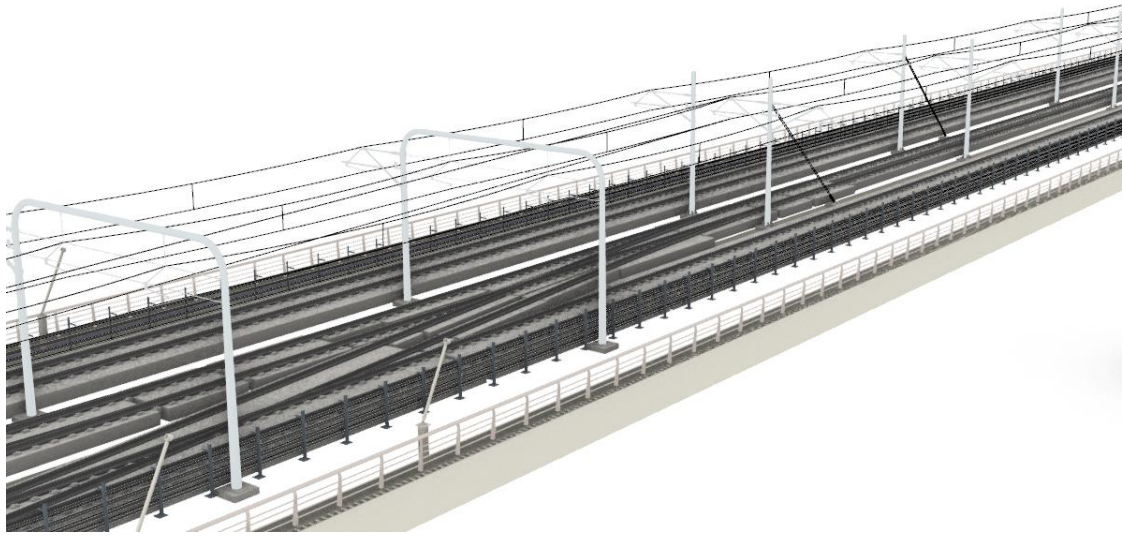
b) A8 桥台

图 D.2.6-22 桥台结构建模

(6) 附属结构建模

本桥桥梁附属结构包含桥面铺装、排水、支座、阻尼器、伸缩缝、纵向限位装置、声屏障、轨道及线上系统预埋件、桥名牌、接触网及拉线基础等设施。

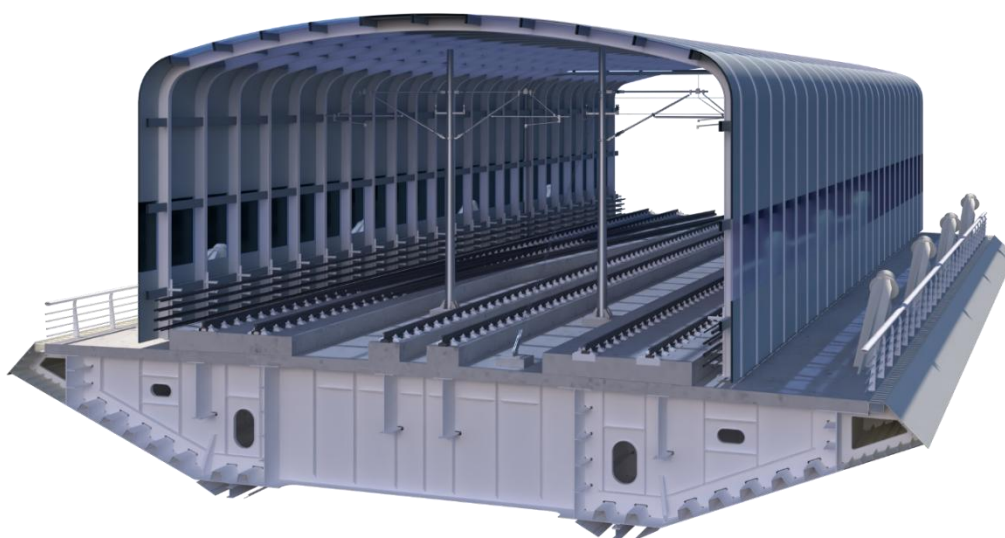
步骤一：对于桥面铺装、纵向排水管、接触网、声屏障、轨道及线上系统预埋件等桥面附属，对于纵向通长构件，可基于控制截面及纵向定位线，采用参数化设计的方式进行纵向构件的批量建模。对于轨道接触网等标准构件，首先建立标准构件的标准族库，借用参数化手段进行标准族库的批量驱动定位，批量完成附属结构的建模。



a)桥面纵向结构



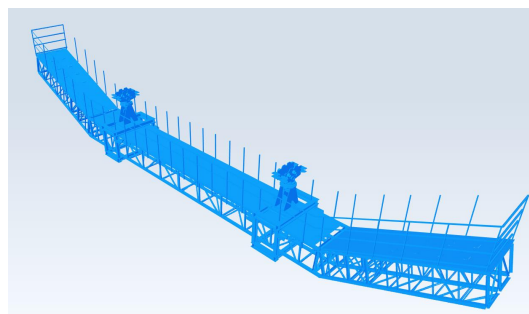
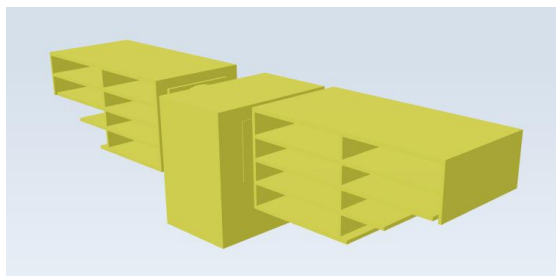
b)桥面附属构成



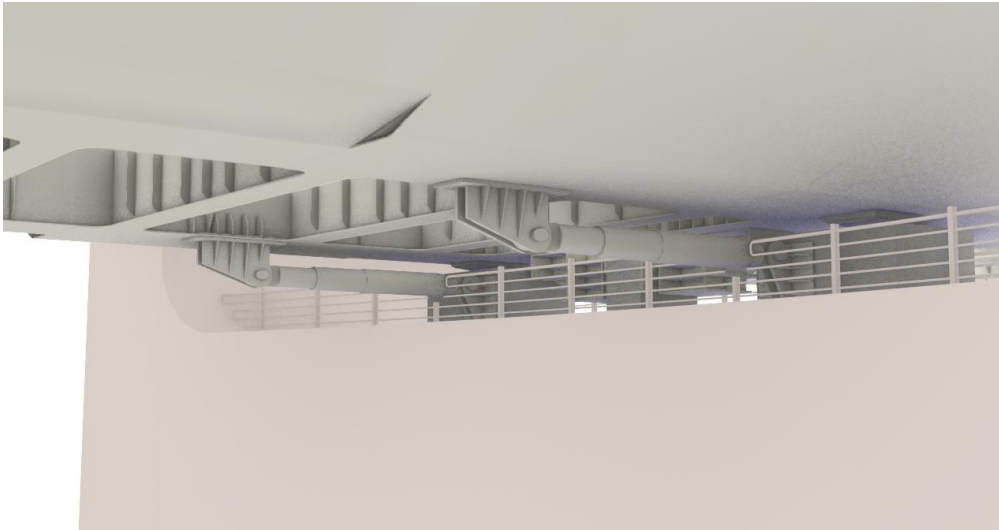
c)声屏障细部构造

图 D.2.6-23 桥面附属结构

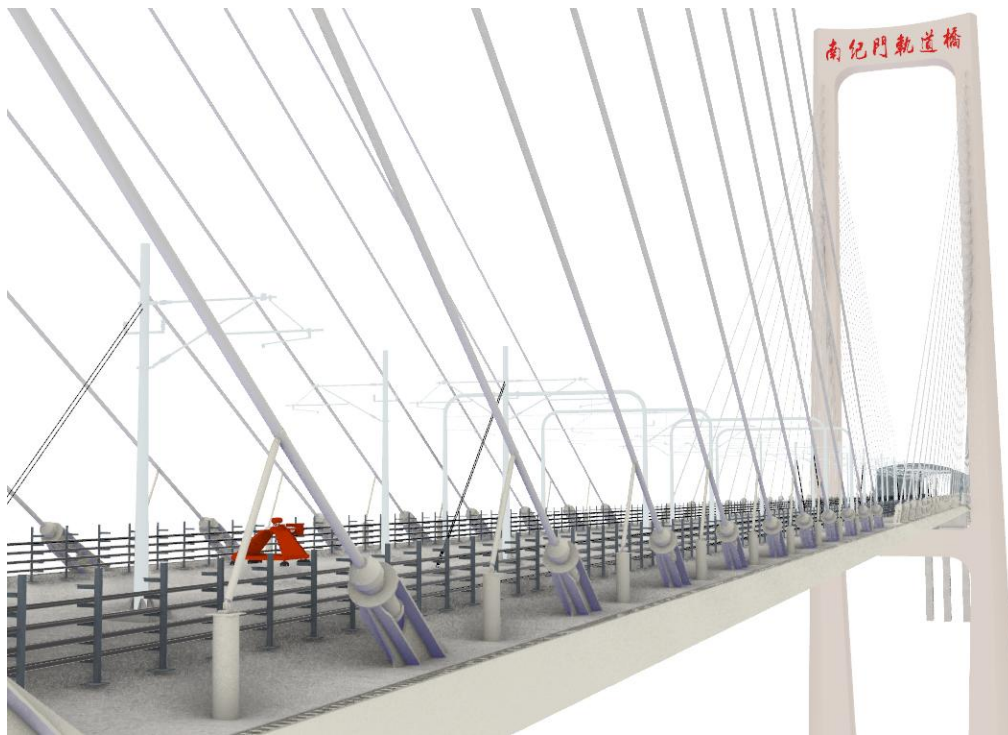
步骤二：对于支座、伸缩缝、阻尼器、竖向排水管等附属结构，由于都是构件级的物件，可以根据主体结构的既有边界，依托主体结构的定位点线面信息，建立族库模型，并将其批量定位至桥梁主体结构上。快速完成全桥附属结构的建模。



a) 限位装置及检修车



b) 阻尼器



c) 拉索减隔震措施



d) 支撑区域附属结构

图 D.2.6-24 典型附属结构建模

D.2.7 三维模型校审

为了更好地检验正向设计成果的准确性，需对正向设计的成果进一步校审。借助三维协同设计平台开展对专业的线上模型整合和联合校审，保证各专业数据接口的匹配。正向设计校审既包含了三维模型校审，也包含了图纸校审，应优先进行模型校审，完成正向设计成果，再进行二维图纸校审，以使图纸表达清晰准确。

(1) 信息模型校审流程

BIM 正向协同设计的主要流程包括：基础模型创建、各专业内三维模型设计、专业内模型拆分与模型校审、专业间模型碰撞检查、模型总装与三维会审、模型出图及应用等。信息模型从建模到形成项目总装模型的校审流程，如图 D.2.7-1 所示。

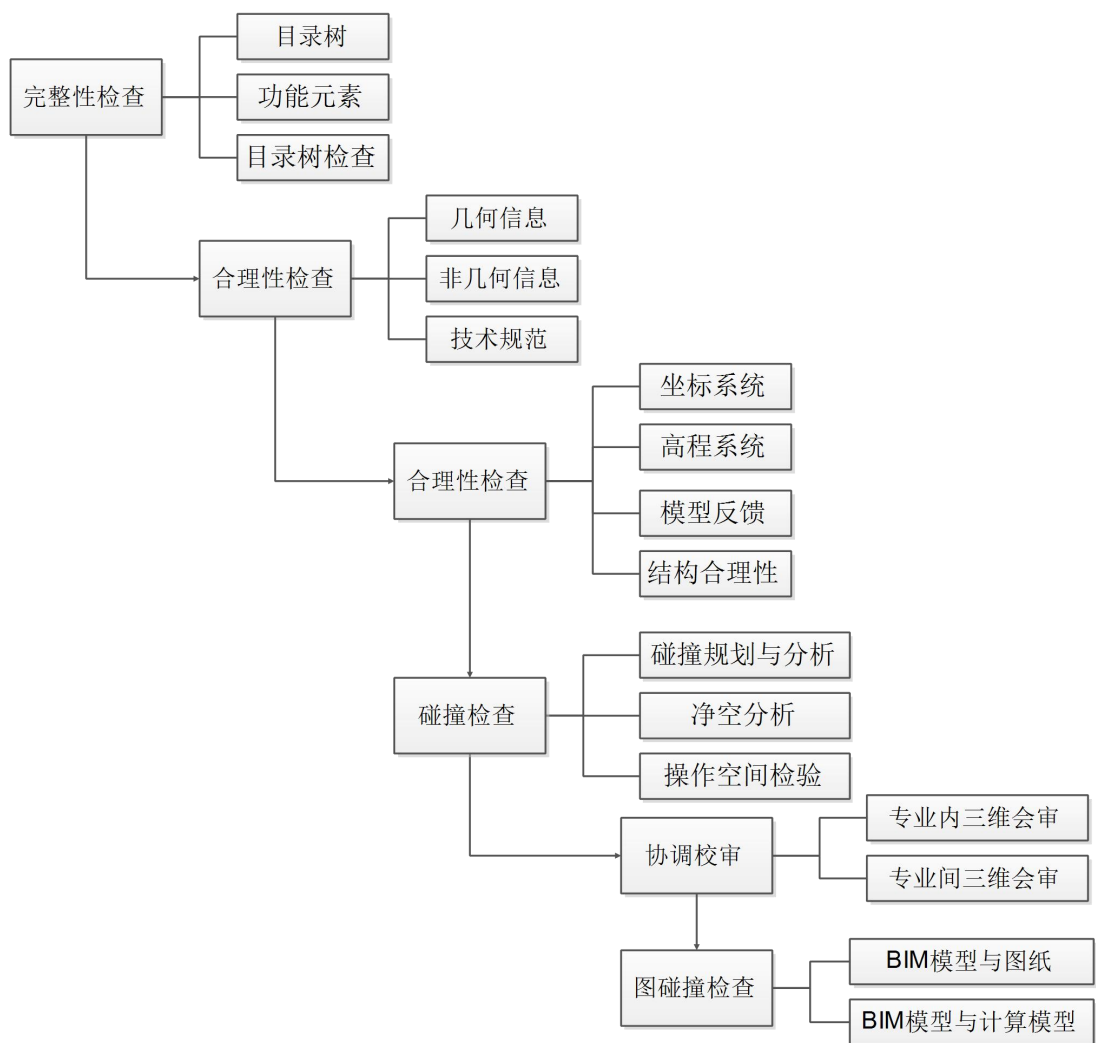


图 D.2.7-1 信息模型校审流程

(2) 信息模型校审内容

正向设计 BIM 模型的检查内容包括：

1) 完整性检查：指正向设计 BIM 模型交付物中所应包含的模型、构件是否完整，BIM 模型所包含的内容及深度是否符合交付要求；

2) 规范性检查：指正向设计 BIM 模型交付物是否符合建模规范，并符合国家、行业以及地方现行有关标准的规定，模型交付成果应包括 BIM 模型、模型说明文件以及相关分析报告等。模型中的几何信息和非几何信息深度是否满足阶段要求，模型构件及参数间的关联性是否正确，模型构件间的空间关系是否正确，语义属性信息是否完整，交付格式及版本是否正确等；

3) 合理性检查：指通过与设计技术（工程技术、标准规范、方案优劣）的对接以及通过三维数字化模型检验设计技术合理性的过程，包含坐标体系、高程体系、模型对接合理性、

模型反馈、结构合理性检查等内容；

4) 碰撞检查：指基于 BIM 软件平台自动完成对构件与构件（不同类别的元素）之间碰撞、净空分析、安装、作业空间是否满足要求的过程；

5) 模型协调性要求的符合度检查：指正向设计 BIM 交付物中模型及构件是否具有良好的协调关系，如桥梁专业内部及专业间模型是否存在直接的冲突，安装、操作空间是否合理等。

信息模型检查需针对以上五个方面的模型检查内容，明确模型检查指标，通过模型检查发现设计问题，以保证设计质量。

（3）二三维联动设计校审

1) 校审环境

二三维联动设计校审能够实现二维图纸与三维模型之间的数据联动，确保设计的一致性和准确性，同时提高设计效率和优化设计方案。这种方法也能够更好地协调设计和施工，减少错误和改动，提高桥梁设计的质量和可靠性。但要实现二三维联动设计校审，需要团队成员具备 BIM 技术和结构设计知识，并采用支持 BIM 的桥梁设计软件。

模型的校审可以通过 Rhino、Navisworks 等软件进行。在三维软件中进行模型的轻量化整合，同时可添加批注、记录视点，操作比较简单，批注意见也可以列表进行统一管理。通过二次开发 Navisworks 插件，将模型与 dwg 同步分屏显示，并制作专门的校审符号构件，以不同形状表示不同的状态，也可以通过明细表功能，对校审意见进行列表汇总，并通过链接追溯到校审位置。

进行联动设计校审时，应优先对三维模型进行校审，保证模型的准确合理，这是三维正向设计的关键；而后对输出图纸进行校审，修改不符合图纸表达习惯的部分，或是补充更为详细的局部剖切大样或符号示意图等。

2) 校审内容与要求

BIM 正向设计的校审与传统二维 CAD 设计的校审有较大区别，其成果既包括传统意义上的图纸，同时还包括各专业的 BIM 模型，以及模型里面包含的信息，因此不管是校对还是审核，针对的都是整体的设计成果，而非仅针对传统二维图纸，这对校审人员也提出了更高的要求。

（4）校审结论

在设计校核阶段，基于 BIM 模型的三维校审，共发现碰撞问题 13 处。

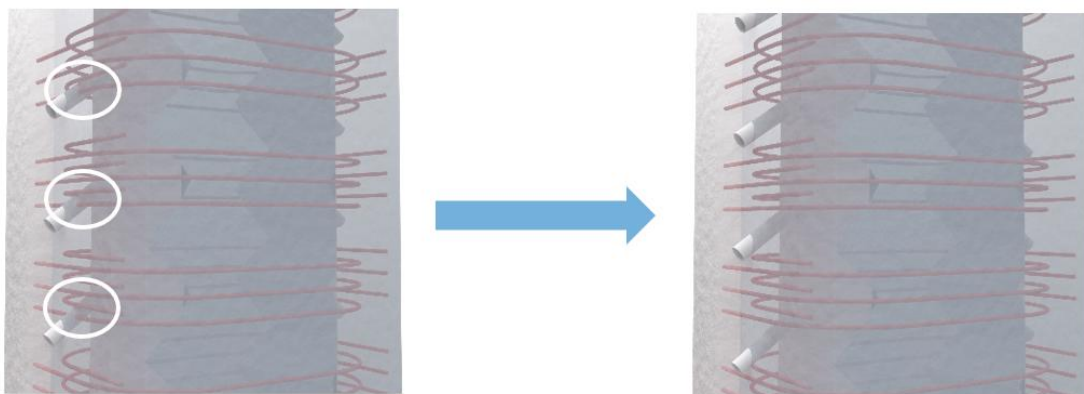


图 D.2.7-2 环向预应力与索导管碰撞分析

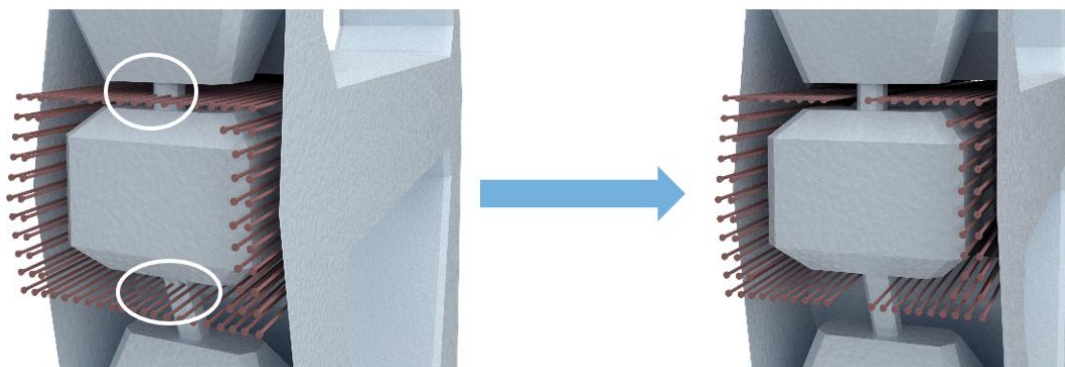


图 D.2.7-3 横梁预应力与人孔碰撞分析



图 D.2.7-4 全桥主梁及桥塔检修系统通达性检查

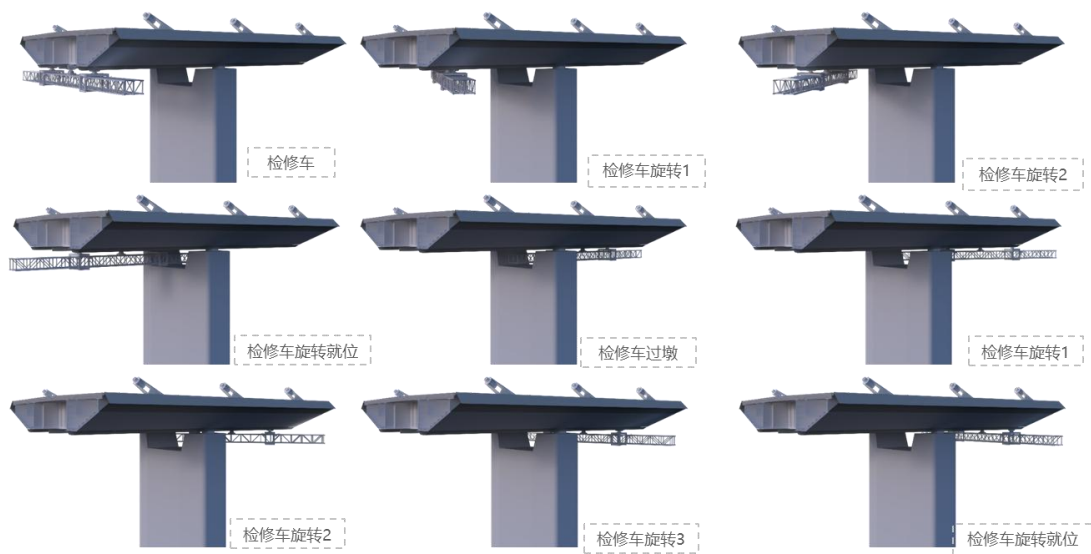


图 D.2.7-5 检修车旋转过墩分析

D.2.8 三维模型表达

(1) 场地分析

随着信息技术不断发展,如何利用信息技术构建三维实景模型,指导项目前期工作开展,已经成为方案设计的基本要求。运用 BIM 技术,在设计阶段可以直观地看到工程建成后的三维效果,可以在此基础上进行设计调整、方案论证。通过导入相关的分析软件,就能得到相应的线网分析、线路碰撞检查结果,增加了设计的协调、协同能力,避免不同专业出现衔接不顺的情况,提高了设计的安全性。



图 D.2.8-1 桥梁两岸三维场地模型

在方案设计过程中,本项目构建的三维模型,能够精确的展示外部条件与项目之间的相互关系,与项目相关的外部控制条件主要有:路线走廊、立交与地形之间的关系等。

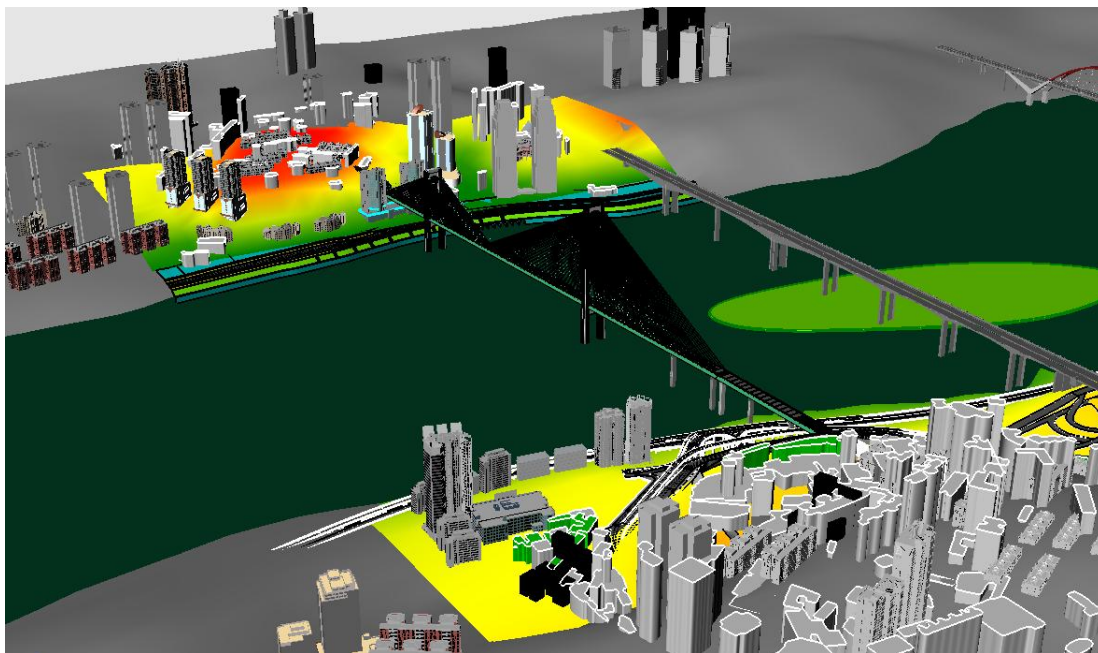


图 D.2.8-2 桥梁两岸三维地形高度分析图

(2) 方案效果展示

桥梁效果表现图主要包括平面渲染图、白景效果图、夜景效果图，它是桥梁设计师利用计算机辅助设计软件创作的一种图像，用于展示桥梁设计方案和细节，其主要作用是帮助人们更好地理解 and 评估桥梁设计方案：

(1) 可视化展示：桥梁效果图通过图像的形式直观地展示了建筑设计方案的外观和空间特征，使人们可以更好地理解设计师的设计意图。

(2) 决策辅助：效果图可以帮助设计师、设计团队和业主在设计过程中做出决策。通过查看效果表现图，他们可以评估和比较不同设计方案的优缺点，并根据需要进行修改和调整。

(3) 沟通工具：效果表现图可以作为沟通工具，帮助建筑师与客户、项目团队和相关利益相关者之间进行有效的沟通。通过可视化的图像，各方可以更好地交流和理解设计方案，从而减少误解和不必要的修改。

(4) 宣传推广：建筑效果图可以用于宣传和推广建筑项目。它们可以在展览会、网站、宣传册等媒体上使用，吸引潜在客户或投资者的兴趣，展示项目的独特之处和潜力。

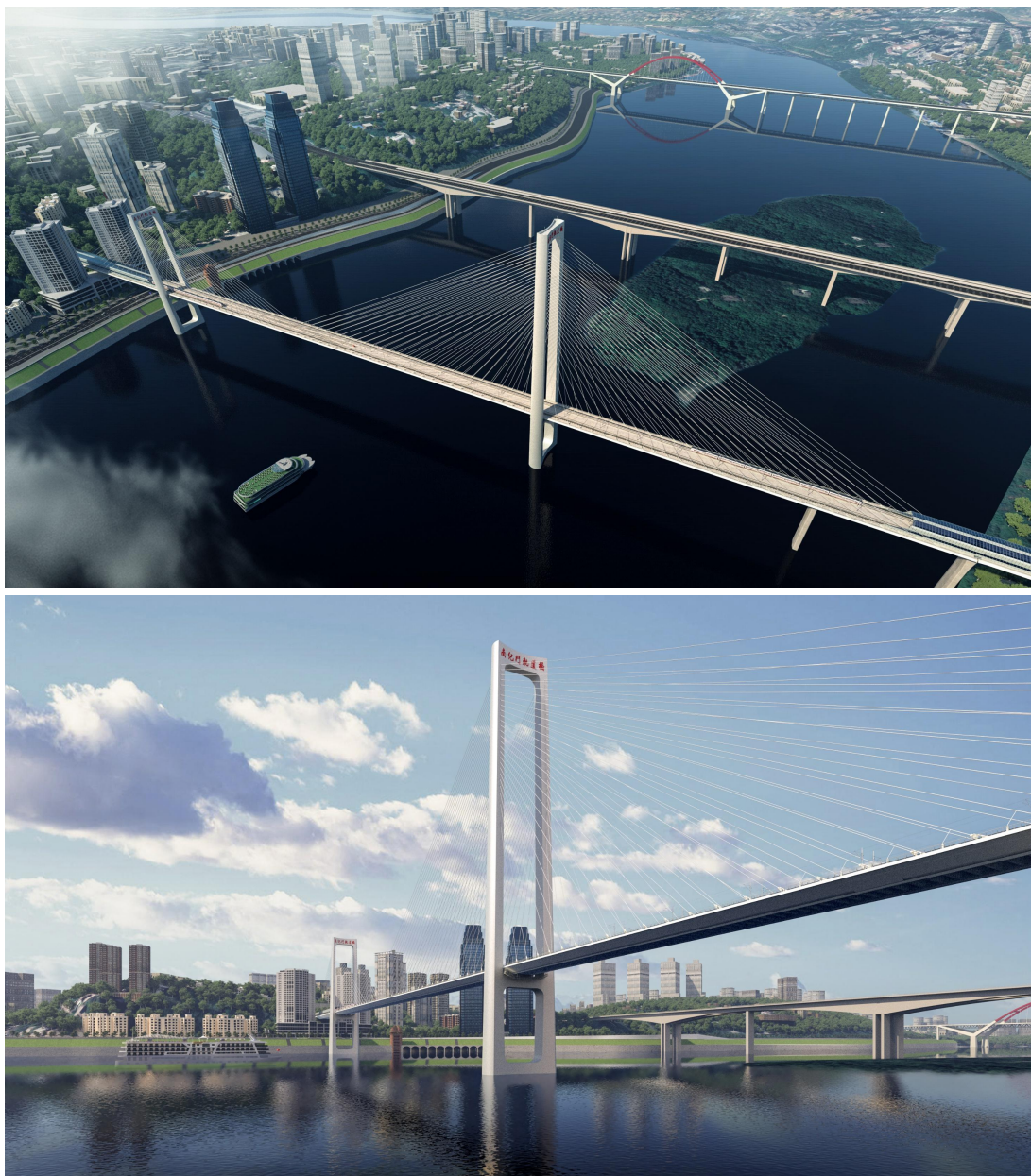


图 D.2.8-3 桥梁效果图

(3) 全景效果展示

本项目在设计过程中整合了多种轻型移动端展示技术，借助 720 云平台进行全视角、真实景、高清晰的全景漫游。通过将项目 BIM 模型的关键视点渲染成 360 度全景，再将各个视点的全景图进行串连，最后构建出一个虚拟的全景空间。用户在浏览漫游场景时，可借助鼠标或移动端远近距离左右操作。基于全景漫游技术将项目进行 360 度全景展示，项目各参建方能够更为直观的了解项目设计情况。同时，借助移动端进行互动性展示，通过方便快捷的“交互式体验”实时进行结构参数化优化和迭代，增强客户对项目的优化过程更为直观地体会，以辅助进行更为高效的决策。本项目的全景效果图平台详见图 D.2.8-4。



图 D.2.8-4 BIM+720 云

(4) 动画效果展示

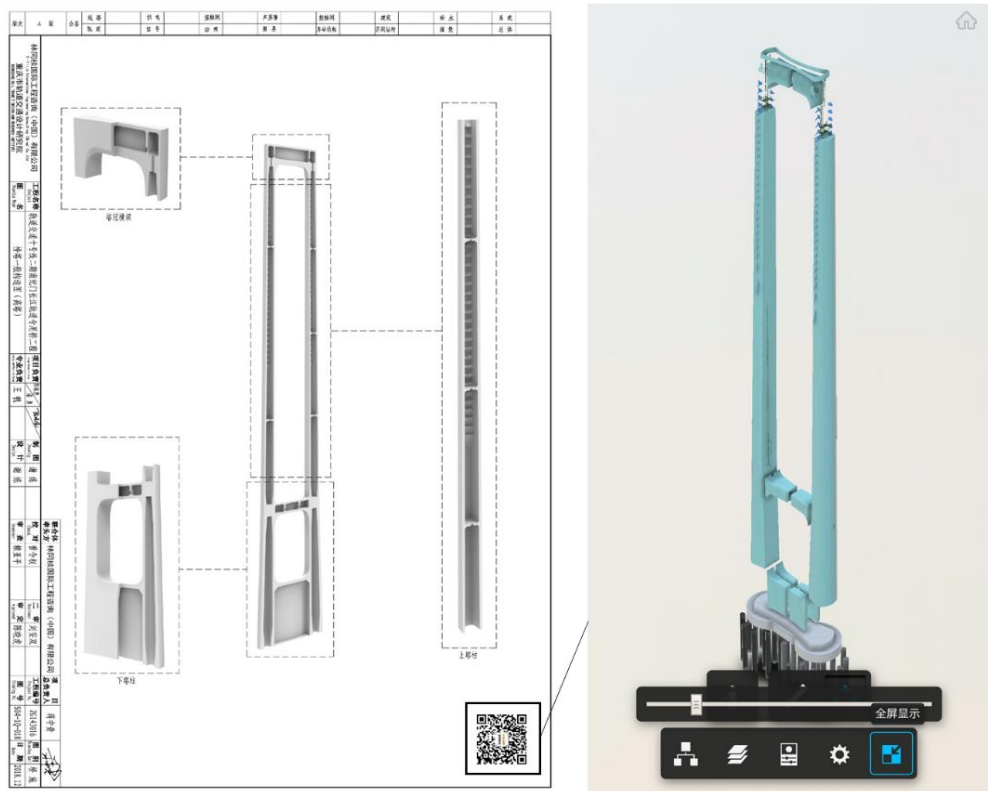
随着国内城市化进程的不断加快，三维动画技术的出现，为桥梁的景观分析提供了一个强有力的工具和手段。本项目在 Rhino 中进行桥梁主体结构 BIM 模型、场地环境及周边接线工程模型的建立，借用 Lumion 完成对该特大桥的序列动画渲染研究，能够直接在个人计算机中创建虚拟漫游路径，动画漫游渲染效果序列帧效果如图 D.2.8-5 所示。



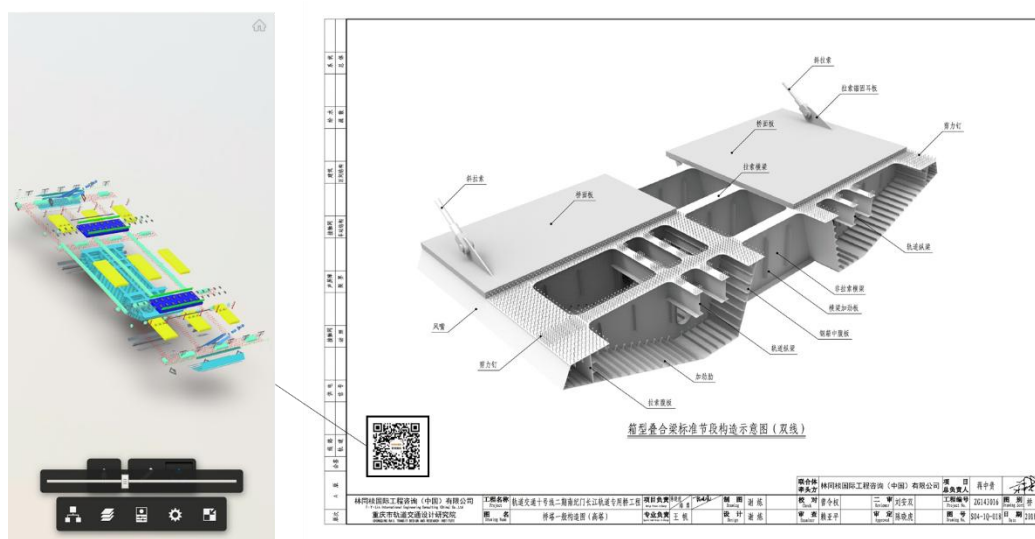
图 D.2.8-5 BIM+动画漫游

(5) 智慧图纸

基于 BIM+AR 技术研发“智慧图纸”，可实现移动端扫码后直接在手机上呈现构件的 BIM 模型，使参建方能够快速、准确地了解复杂构造。对于异型构件，只需基于 BIM 模型快速生成不同角度的三维图纸，即可直观表达，且现场施工员可根据“三维+二维”的智慧图纸表达形式直观理解设计，大大减少了现场沟通效率，有效加快工程进度。



a)桥塔三维视图表达



b)桥塔三维视图表达

图 D.2.8-6 “三维+二维”的智慧图纸

D.3 设计阶段模型应用

D.3.1 设计方案比选

为确定大桥的桥型方案，本项目在方案设计阶段便引入 BIM 正向设计手段，对有条件采用的钢桁梁、斜拉桥、悬索桥三种基本桥型进行了技术经济比选，清晰直观地进行方案效果的比较与沟通，借助三维可视化的正向设计手段辅助进行快速高效地决策，比选过程及结论如下表所示。

表 D.3.1 方案比选及优化

桥型	效果图	比选结论
钢桁梁桥		景观效果比较差，工程造价比较高，施工风险较高，不推荐。
自锚式悬索桥		景观效果较好，工程造价较高，施工工期最长，技术风险较大，不推荐。
双塔斜拉桥		整体景观效果良好，施工较为成熟，相对经济，但局部景观略有不足，故不推荐。
高底塔斜拉桥		整体景观效果良好，施工较为成熟，较经济，采用高低塔的形式与周边环境融合对局部景观有了较好的适应性， 推荐采用。

为协调大桥两岸景观风貌及空间形态，大桥采用高低塔的形式布置，南侧桥塔高度与南滨国际的两栋塔楼呼应，北桥塔作为该桥的视觉中心，强调其在该区域的“统领”作用。

桥塔是桥梁景观的主要标志，通过桥塔给大桥赋予文化的内涵，体现特色，同时桥塔需保证有足够的强度和稳定性。因此，我们对桥塔的造型优化既要满足结构受力要求，又要体现文化底蕴。

重庆自古以来作为重要的水上运输口岸，本桥在地理位置上紧邻南纪门，桥名也是南纪门，于是桥塔方案的造型采用“门”型构造，蕴含着对重庆古城门的追忆。而渝中与南岸又属于重庆的都市核心区域，采用现代简约的“门”型桥塔，既是对重庆传统历史文化的传承，又蕴含着新重庆敞开大门，迎接挑战，走向未来的寓意。



图 D.3.1-1 桥塔塔冠建筑造型比较

桥塔是由塔柱、横梁组成的门形结构。塔柱和上横梁为普通钢筋混凝土结构，中横梁为预应力混凝土结构，塔柱及横梁均采用 C50 混凝土。大桥采用现代简约的门型塔造型，其风格上能与城市环境中的高层建筑建筑形式较好地匹配，做到了不同视角建筑景观的统一。

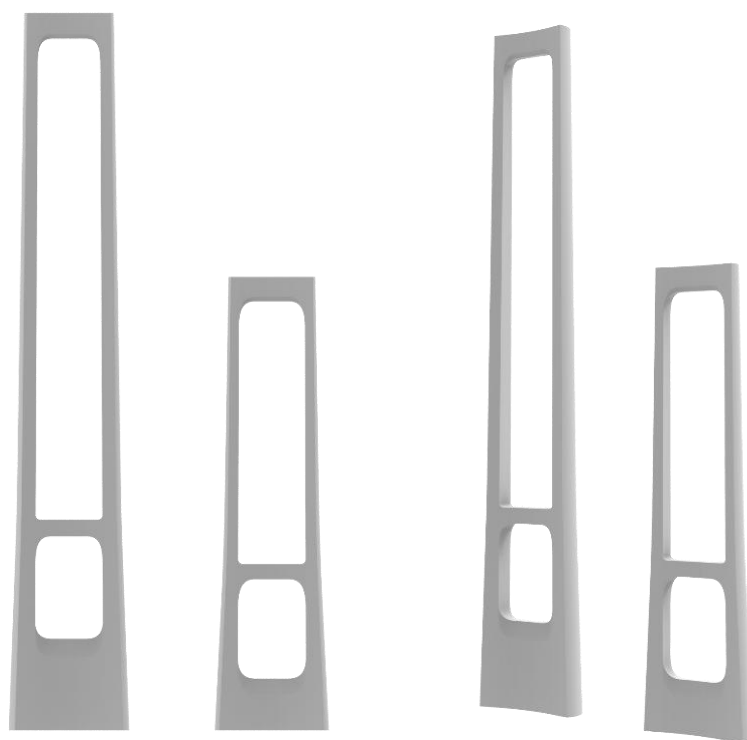


图 D.3.1-2 桥塔造型示意图

D.3.2 设计阶段质量辅助校核

碰撞检查是 BIM 应用的基础功能，在国内近些年 BIM 推广的工作中，它的实用性是有目共睹

的。碰撞检查是二维时代转向三维时代的重要标志，通过全面的“三维校审”，在此过程中可发现大量隐藏在设计中的问题。在现实建造施工之前，理论上能完全消除各类碰撞，减少返工，缩短工期，节约成本。

BIM 中所指的碰撞检查可以分为硬碰撞和软碰撞两种，硬碰撞是指实体与实体之间交叉碰撞，软碰撞是指实际并没有碰撞，但间距和空间无法满足相关施工要求（行驶净空、施工安装、检查维修、施焊空间等），软碰撞也包括基于时间的碰撞需求，指在动态施工过程中，可能发生的碰撞，例如场布中的车辆行驶、塔吊等施工机械的运作。

本项目在设计过程中，定期地进行全专业的碰撞分析，有效地避免了错、漏、碰、缺，提升了设计质量和设计品质。

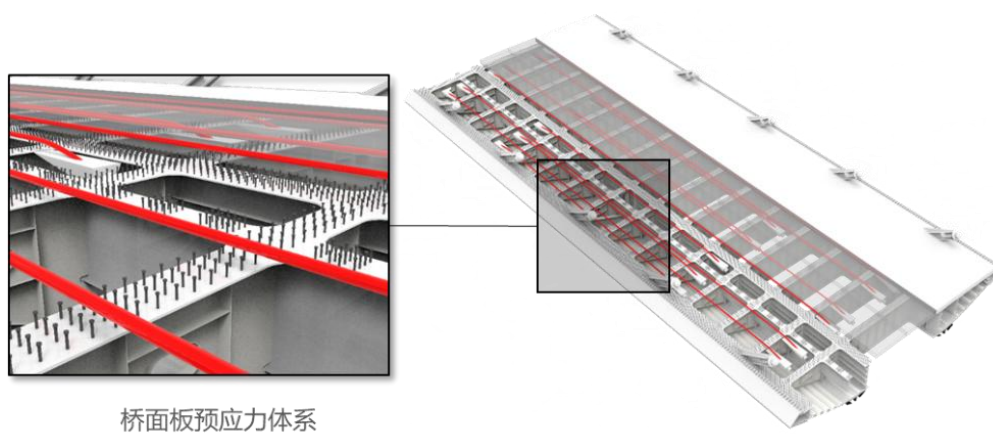


图 D.3.2 混凝土桥面板预应力碰撞检查分析

D.3.3 设计信息交互

（1）工程量统计

模型的信息化是 BIM 的基本属性，模型自带信息能够用于工程设计信息管理，同时也能够快速对构件库中各类组件进行工程量的统计分析，相比人工统计，大幅提升了工程量统计的精准程度。

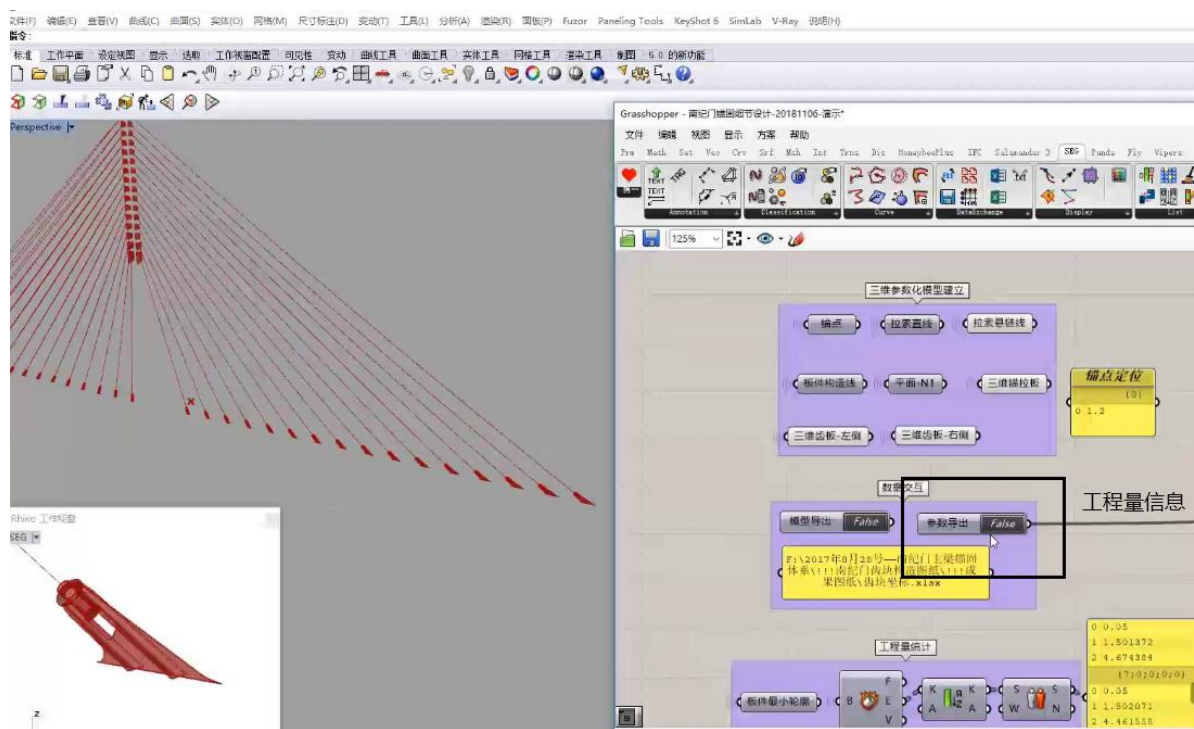


图 D.3.3-1 工程数量统计模块

(2) 正向出图

三视图（主视图，俯视图，左视图三个基本视图）能够正确反映物体的长宽高尺寸，是工程界一种对物体几何形状约定俗成的抽象表达方式，也是目前二维图纸的基础。由于桥梁专业 BIM 技术应用尚处于探索应用阶段，相关 BIM 质量管理体系尚未完善，二维图纸表达尚不可或缺，也是现阶段建筑行业的主要交付文件，因此现在我国桥梁建设的所有流程都围绕“图纸”进行，一般性桥梁依靠二维图纸，特殊桥梁以二维图纸为主，三维为辅。因此 BIM 模型的智能 2D 出图能力，极大保证了设计效率和质量。

在 BIM 技术的应用框架下，设计理念逐渐向“三维为主，二维为辅”转变，三维的数字化模型能够精确表达桥梁的复杂构件、展现的所有特性，R+GH+R 平台可借助参数化的优势快速批量输出二维图纸。由三维模型交互出的二维图纸，可以实现便捷的联动批量修改，形成自动化的智能交互过程。借助参数化手段将结构设计的数据流在三维模型与二维图纸之间快速地流通，大大节省了设计制图时间，避免了调整带来的重复工作量，实现自身价值的最大化。本项目信息模型的直接出图率达 60%。同时，利用“三维+二维”相结合的出图方式，将三维模型渲染图和二维投影图有机结合，设计意图的更加清晰直观。

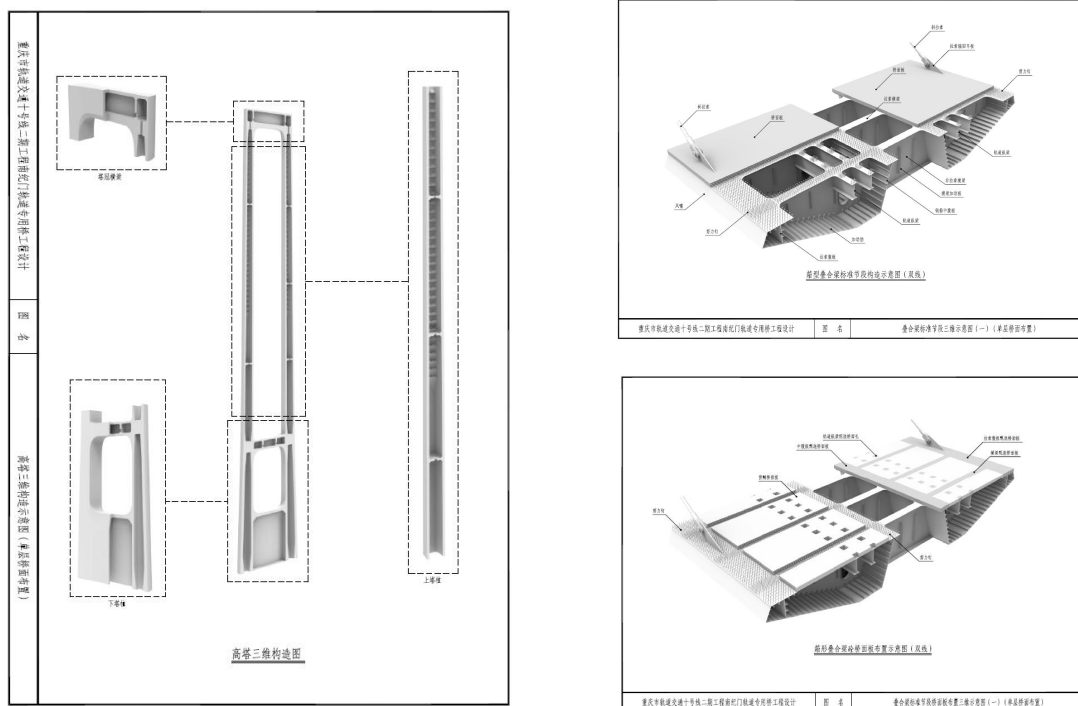


图 D.3.3-2“三维+二维”出图

(3) 参数化设计

本桥斜拉索均为空间拉索，锚固体系的设计应综合考虑拉索锚点位置、拉索垂度效应、钢梁顶立面线型、主梁预拱度、钢梁边腹板横向位置以及桥塔塔壁构造等的影响。全桥锚固体系共有 86 种不同类型，设计工作相对繁杂且易出错，设计过程中需要不断地进行控制参数的输入和调整，设计成果相对稳定后，需进行关键控制参数、工程量清单等信息的交互，若采用传统的二维设计手段，设计周期较长，且难以进行精确地设计。本桥采用参数化设计手段进行锚固体系的正向设计，涵盖关键参数确定、有限元仿真分析、结构优化及迭代、工程量统计及清单绘制等全过程，本桥锚固体系参数化设计成果详见图 D.3.3-3 及图 D.3.3-4。

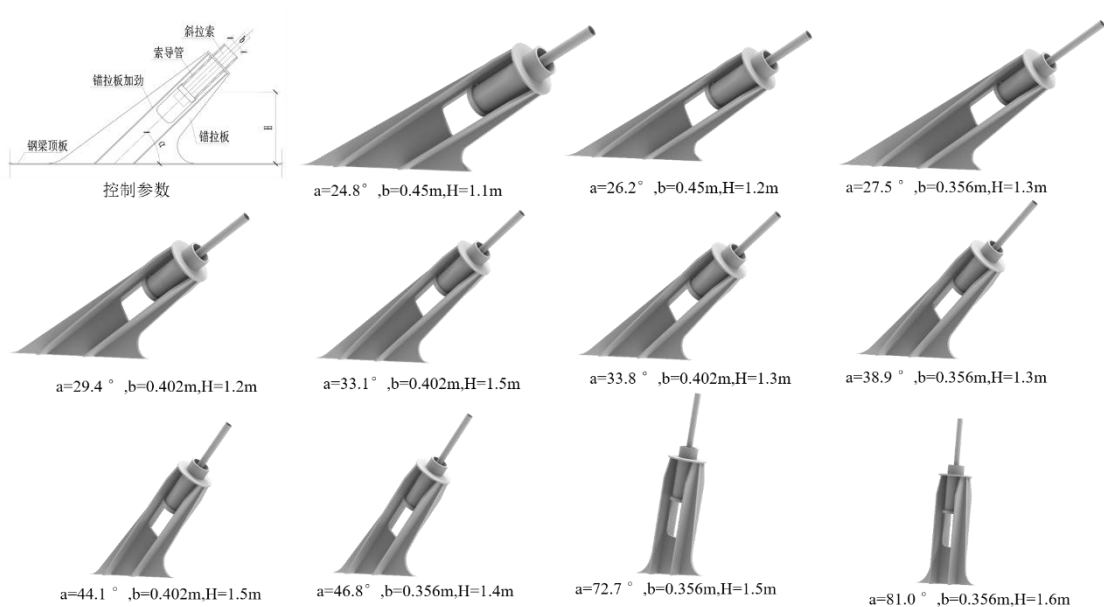


图 D.3.3-3 锚拉板参数化设计成果

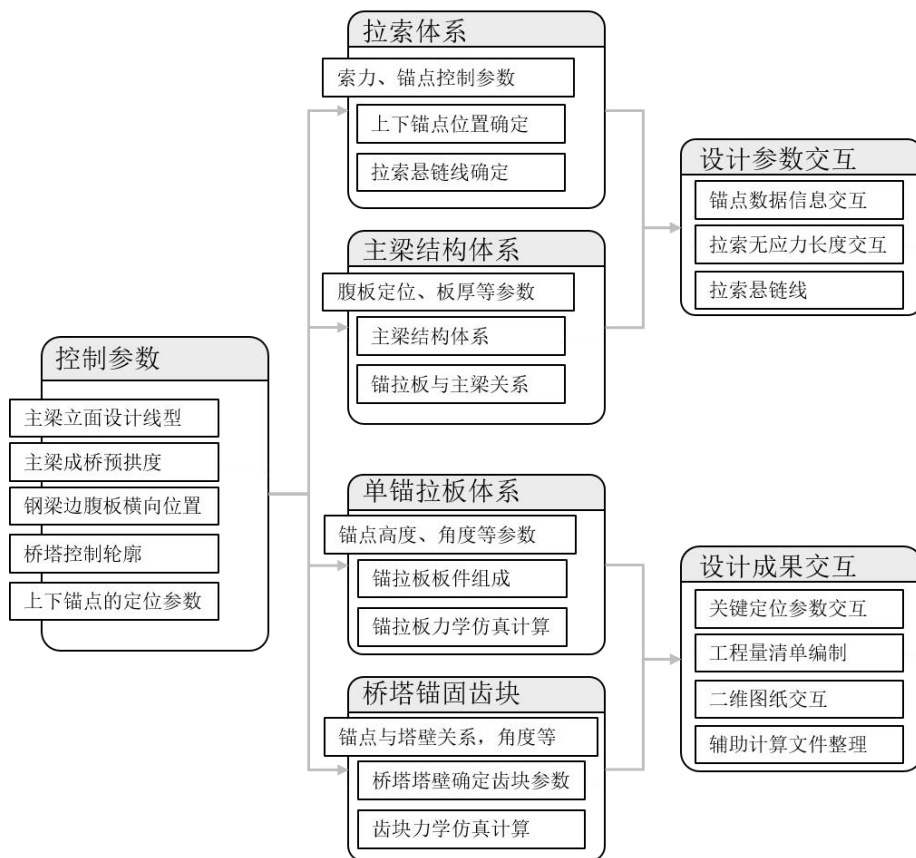


图 D.3.3-4 锚拉板参数化设计过程

D.3.4 力学性能分析

在结构计算方面，利用 midas API 技术将 Grasshopper 参数化骨架模型，实时转化为 midas Civil 三维杆系有限元计算模型，实现一键转化、一键运行计算并查看计算结果，并通过实时联动功能快速进行结构的迭代及优化；对于桥梁结构受力复杂的部位，BIM 模型可直接交互实体有限元分析，

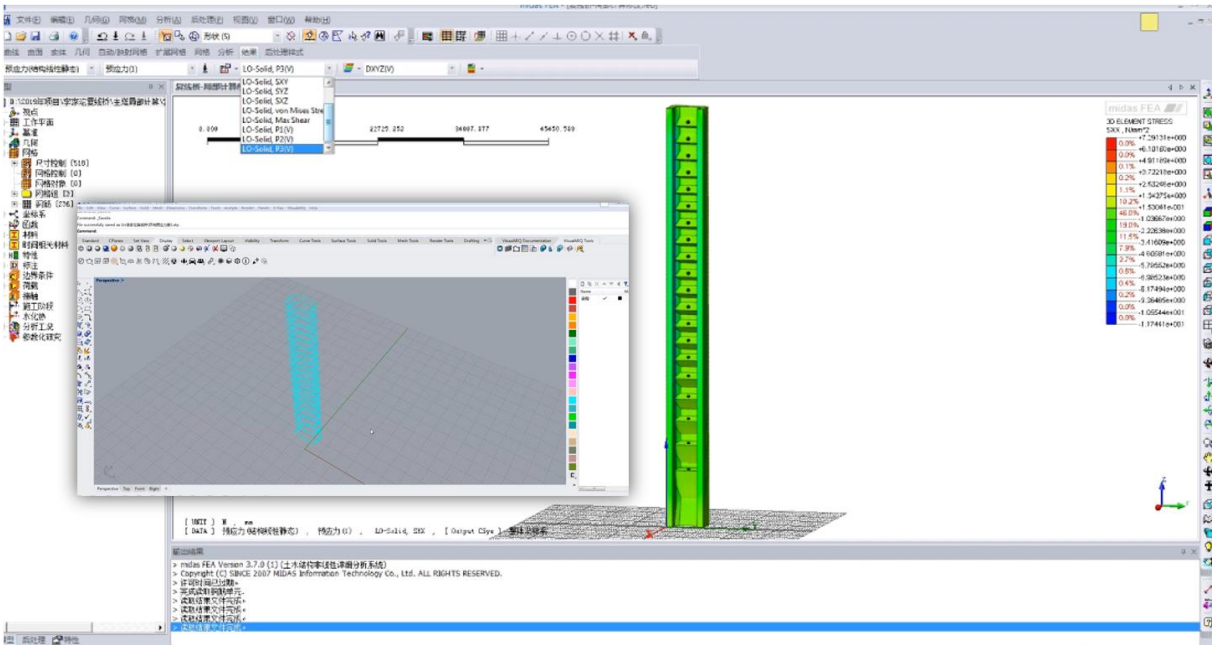
进行力学仿真模拟。



Grasshopper参数化骨架模型

MIDAS Civil NX有限元模型

a) 参数化骨架模型、三维杆系有限元计算模型



b) 实体有限元计算模型

图 D.3.4 计算交互

D.3.5 模型拓展应用

(1) 3D 打印技术

3D 打印技术以 BIM 模型为基础，借助 Allcct 印客打印机，运用快速成型的环境友好型聚乳酸（PLA）材料，借助逐层打印的方式来构建形体。因此，它具备复杂形体制作成本低、无须二次组装、操作简单、环保及模型精细度高等优势。

本项目结合 3D 打印技术进行桥塔造型的推敲和优化，最终确定桥塔的造型方案，如图 D.3.5-1 所示。为保证后期桥塔实施的便捷性，本项目在桥塔侧面设计成单一曲率，可重复利用桥塔侧模，

节约桥塔的施工成本。

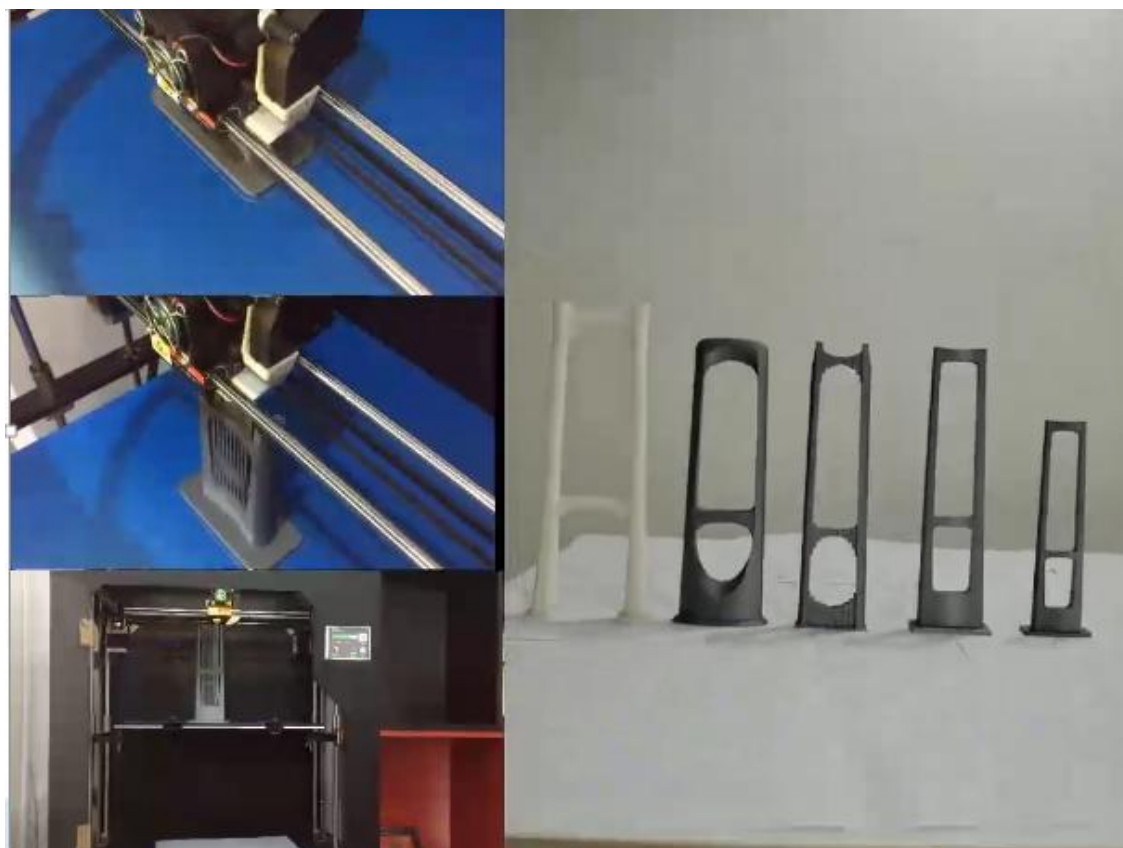


图 D.3.5-1 BIM+3D 打印

(2) VR 沉浸式漫游

虚拟现实以信息技术为核心，在计算机数字化环境中建立一个多源信息融合和交互式的三维动态视景的仿真世界，用户可从视觉、听觉和触觉等多方面感知途径与虚拟世界的对象进行交互。随着计算机信息技术的发展，VR 在桥梁中也得到了一定的应用。本桥在设计过程中利用 BIM+VR 技术，一方面可帮助设计师更加准确地把握项目中构件的空间尺度；另一方面能增强项目信息交互和传递时的直观感受，VR 体验过程如图 D.3.5-2 所示。



a) 轨面桥塔视角

b) 声屏障内部空间



c) 桥台内部检修空间



d) 叠合梁内部空间

图 D.3.5-2 BIM+VR

(3) 云计算技术

传统的 BIM 作业模式均是基于本地环境进行设计、计算和渲染等工作，渲染过程需要占用大量硬件资源和时间，效率低下。通过引入远端云计算技术，借助炫我科技的炫云云渲染技术，将本地 PC 计算机上的渲染任务借助族群的数据服务中心来处理，极大的节约成本，缩短制作周期，提升工作效率，真正实现本地设计，云端渲染。为智慧图纸的应用与普及提供了技术支撑。云计算渲染平台如图 D.3.5-3 所示。

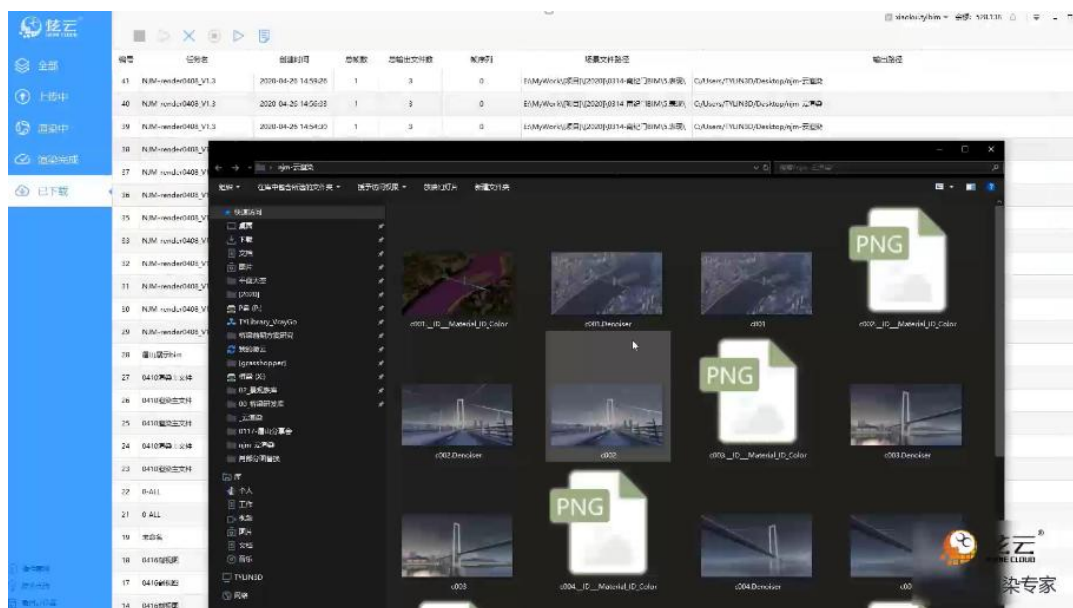


图 D.3.5-3 炫云计算

(4) 同感设计

借助移动端进行互动性展示，通过方便快捷的“交互式体验”实时进行结构参数化优化和迭代，借助 BIM 模型有效链接客户与方案，增强客户对项目的优化过程更为直观地体会，以辅助进行更为高效科学的决策。



图 D.3.5-4 同感设计

(5) 可视化技术交底

鉴于本桥施工过程的复杂性，为使参建各方更为直观地把握项目建设全过程，借助 BIM 技术进行三维可视化的施工技术交底；相对于传统的二维交底，参建方能够更加准确地把握项目的关键施工工序；同时，施工单位能够在此模型的基础上结合施工组织措施进一步细化

施工步骤，服务于施工阶段的 BIM 模型。本桥施工过程模拟如图 D.3.5-5 所示。采用 4D 动态模拟平台进行桥梁施工全过程的三维可视化技术交底，其中基础采用钢围堰施工；桥塔及墩柱均采用爬模施工；主桥钢箱梁节段及预制桥面板船运就位后，采用悬臂拼装施工；通过特制吊装系统，实现起梁、旋转、梁上运梁等作业。北引桥采用步履式顶推工艺，避免了对交通运营的干扰。

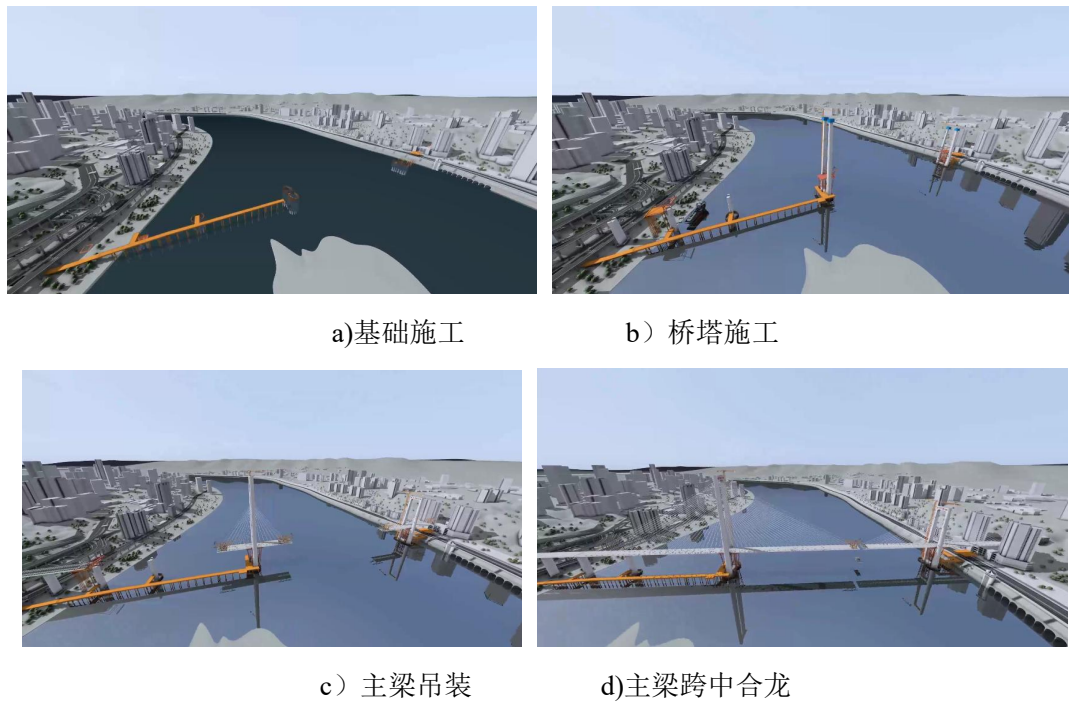


图 D.3.5-5 全桥可视化技术交底

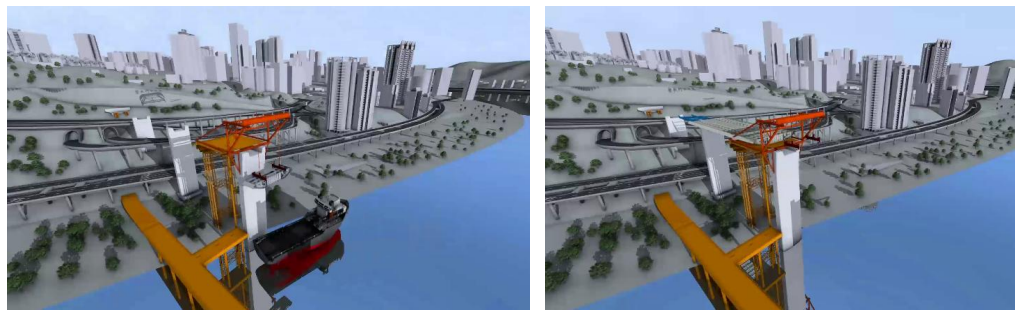
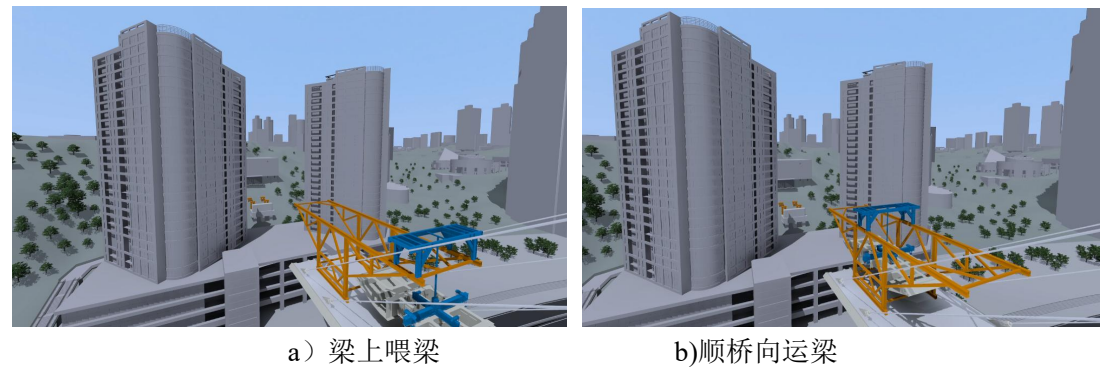


图 D.3.5-6 引桥顶推施工



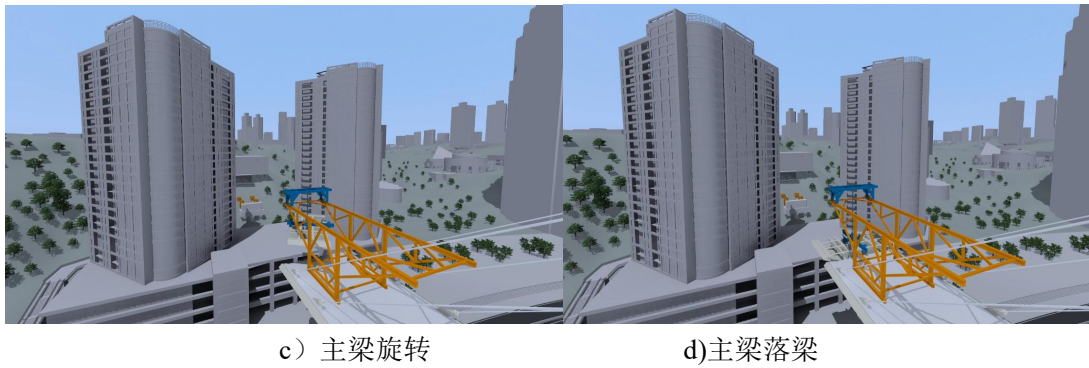


图 D.3.5-7 梁上运梁旋转施工

(6) 数智化运维平台应用

为进一步深化设计阶段 BIM 成果的应用价值，探索全过程 BIM 技术应用模式，实现数智化运维与正向设计无缝接力，形成全面的运维信息资源库，打破交叉学科壁垒，借力融合信息技术，搭建一体化运维管理平台，实现运维管理可视化、信息化、智能化，为桥梁领域的智慧化奠定基础。



图 D.3.5-8 BIM 技术全过程应用模式

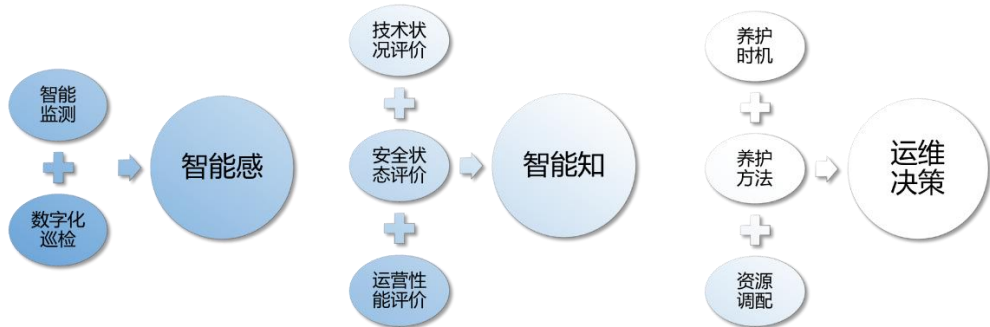


图 D.3.5-9 数智化运维平台核心理念

针对桥梁运维阶段需求，进行了平台架构设计与功能研发，平台由感知层、传输层和应

用层组成，各层相互协调，为桥梁的运维管理、状态评价和养护决策提供科学依据，为百年工程安全运营保驾护航。

数智化运维平台可用于实时在线监测南纪门轨道专用桥运营状态，实时查看和管理监测数据。运维平台关注结构数据的采集、传输、存储、分析和预警，保证长期稳定地获取准确的数据，并通过 midas API 功能实现实时计算和评价分析，向用户实时反馈桥梁结构健康状况。当桥梁出现异常情况时，运维平台会立即给出报警信息提示，并第一时间将报警信息推送至用户管理单位，从而实现对桥梁运营状态实时监测，减少安全事故的发生。

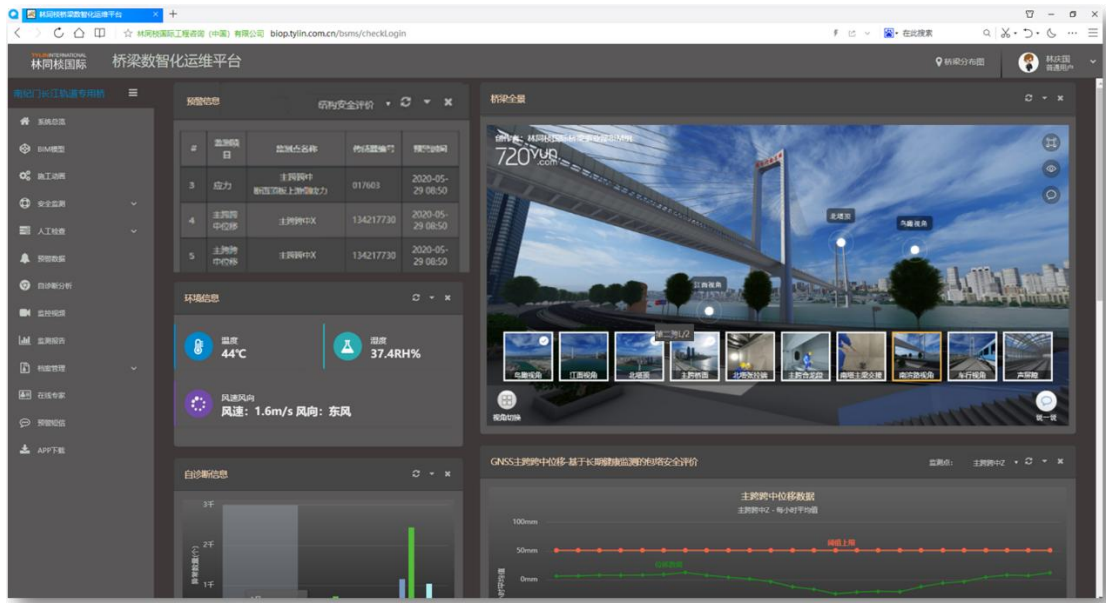


图 D.3.5-10 数智化运维平台总览