

公司名称  
中交第二公路勘察设计研究院有限公司

项目地址  
中国，广东港珠澳大桥

应用软件  
Autodesk® Revit®  
Autodesk® Navisworks®

# 攻克天堑 联通发展新机遇

## BIM技术在港珠澳大桥珠海连接线拱北隧道项目中的应用

“本次应用将JSL-路线专家系统与BIM技术相互结合，实现快速完成隧道工程BIM三维设计工作。同时利用BIM技术的数据集成化、工作协同化和三维可视化等特点，实现了施工进度管理系统和管幕温度控制系统等优势成果，有利于施工质量、安全及施工进度管理水平的提升。

通过BIM技术可以将工程建设全生命周期中各阶段的数据进行高度的集成，保证各阶段信息能够共享，从而使各专业工程师及时获取相应的数据做出正确的响应。应用BIM技术能够实现协同设计、协同管理、协同交流的目的，将有效提高工程项目的工作效率，为项目各参与方带来最大的经济效益。

—王欣南  
副主任  
中交第二公路勘察设计研究院有限公司BIM应用推广中心



中交第二公路勘察设计研究院有限公司

中交第二公路勘察设计研究院有限公司（简称中交二公院）始建于1964年，注册资本8.72亿元人民币，具有工程勘察、设计（公路、市政、建筑、轨道）、咨询、监理、测绘、招标代理、水土保持、地质灾害防治（勘察、设计、监理、施工）、风景园林等国家甲级资质，是我国公路勘察设计行业综合实力最强的企业之一，连年入榜“中国工程设计企业60强”，2008年被认定为“国家高新技术企业”。

近年来，中国交建组织集团所属各子公司，分别承担各工程领域内的BIM技术应用研发任务，中交二公院主要承担BIM技术在隧道与轨道交通工程设计中的应用研究与示范的工作。通过应用与示范研究，建立了完善的隧道与轨道交通工程BIM应用方案，颁布了企业级《隧道工程BIM实施标准》及《城市轨道交通工程BIM实施标准》，研发了基于BIM技术的隧道与轨道交通工程三维设计平台、企业级BIM标准构件管理系统等系列软件成果，实

现BIM技术在隧道与轨道交通工程典型项目中的应用，引导中国交建设计企业进行技术变革，大幅提高设计生产效率和质量。

### 一、项目概况

拱北隧道为港珠澳大桥珠海连接线的关键控制工程，是继港珠澳大桥主桥之后又一世界级工程。隧道所在地隶属于珠海市，毗邻澳门行政区。通车后可满足香港、内地、澳门两岸三地之间的陆路客货运输要求。拱北隧道全长2.74公里，包括海域明挖段、口岸暗挖段、陆域明挖段三部分，其中暗挖段总长255米，采用国内首创的曲线管幕冻结暗挖法施工，曲线管幕长度创造新记录，隧道开挖断面345平方米为世界最大。

### 二、项目特点

拱北口岸作为国内第一大陆口岸，地理位置特殊、政治意义敏感。工程建设不允许对口岸通关造成任何干扰。拱北隧道陆域段建筑



图1 拱北隧道平面总图

物主要有：孙中山市政公园、澳门、珠海国防公路、鸭涌河等；海域沿线有边防五支队营楼；且工程施工与城市道路多次交叉；需要协调的部门众多，多部门之间如何有效沟通，成为项目挑战。

拱北隧道工程施工工序复杂、技术风险高。隧道暗挖段周围采用36根Φ1620mm管幕顶管作为超前支护，分上下两断面同步顶进施工。洞内五层三衬双向式暗挖，然后分三阶段浇注三次衬砌。拱北口岸涉及海域及陆域，地质条件极差，项目采用曲线管幕冻结暗挖法施工，冻结顶管之间土体进行封水，然后进行洞内暗挖。有效克服地质条件差的问题。

曲线管幕冻结暗挖法施工为国内隧道工程项目首次采用，冻结法原理即利用人工制冷技术，使地层中的水结冰，增加其强度和稳定性，隔绝地下水，以便进行地下工程掘砌作业。冻结法的主要风险，来自供冷不足或外部热源导致冻土范围、强度的退化，使地下水倒灌，造成项目灾难性的破坏。温度监控及预警，将成为影响项目成败的关键因素之一。

### 三、设计阶段解决方案

BIM技术在设计阶段主要有路线设计、BIM多专业协同设计、BIM模型出图、设计方案论证等多个方向的应用。

#### 1.路线线形设计

项目组将Autodesk Revit软件与中交二公院自主研发的路线专家系统结合，利用路线专家

系统的平面坐标、纵断面高程以及坡度计算等功能，生成用于Autodesk Revit建模的路线数据，采取二次开发的手段，实现隧道路线三维实体的自动创建。

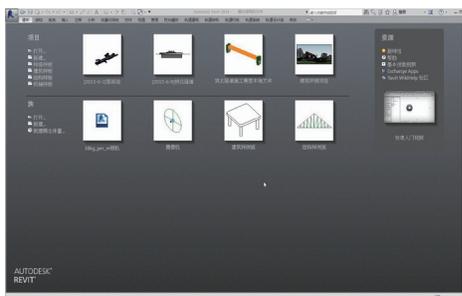


图2 Autodesk Revit创建隧道三维实体

#### 2.BIM多专业协同设计

拱北隧道BIM建模项目由结构专业、交通工程专业、防排水工程专业及路基路面专业等四大专业协同设计完成。由于组成全专业拱北隧道BIM模型的构件较多，项目组建立企业级BIM构件管理系统，并将全部构件导入管理系统，形成中交二公院自主知识产权，为项目组协同管理、快速建立BIM模型起到积极作用。



图3 BIM多专业协同技术方案图

#### 3.BIM隧道设计流程

拱北隧道设计可以分为两类：工作井和特殊段

建模，其BIM建模的主要流程有项目模板、标准构件、路线线形、横断面、管幕及附属构造，最后形成BIM设计成果。主要设计流程如下图所示：

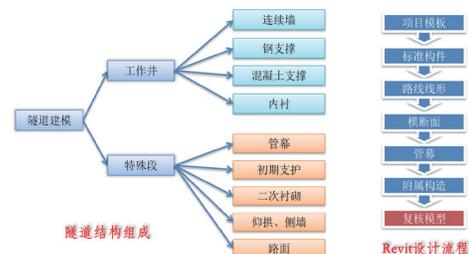


图4 BIM隧道工程设计流程图

#### 4.BIM模型与出图

基于以上步骤，项目组完成了冻结曲线管幕、暗挖开挖断面345平方米拱北隧道BIM模型，以及东、西两侧工作井和周边主要建筑物拱北口岸BIM模型。通过BIM三维可视化直观的展示方式，有效解决项目挑战多部门协调难度大的问题。根据拱北隧道BIM模型出图，工作井施工图、衬砌施工图、管幕施工布置图等。

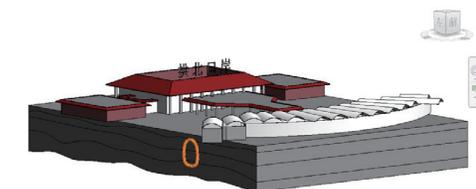


图5 拱北隧道设计阶段模型

#### 5.工作井选址方案

采用三维BIM模型与实景照片相结合的方法，对避免口岸建筑拆迁、工作井进入澳门界内等问题，提供了论证方案。



图6 工作井选址方案

#### 6.BIM三维设计平台与有限元分析系统集成

通过软件二次开发，实现在BIM建模软件中导出工作井计算模型，与大型有限元分析软件结合，对围护结构进行三维仿真受力分析。

从基坑开挖阶段到暗挖破墙阶段的坑内水平形变、竖向弯矩分析，计算结果变形最大值

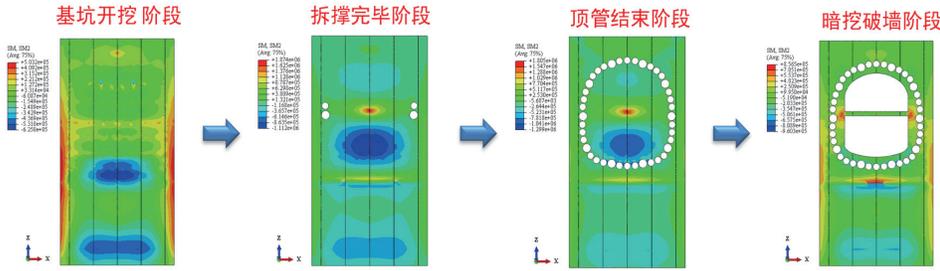


图7 工作井有限元分析图

为14.2mm，出现在开挖面中下部，最大弯矩699KN·m，最大负弯矩-984KN·m，均满足设计要求。

#### 四、施工阶段解决方案

BIM技术在施工阶段主要应用有建立暗挖段BIM施工模型、施工进度管理、漫游与工序模拟。

##### 1.暗挖段BIM施工模型

隧道暗挖段为保证施工安全，开挖断面共划分5个台阶15个分区，台阶高度约3.8m左右，长度约5m左右，主体结构以及支护构造物较为复杂。暗挖段BIM施工模型包含初期支护、二次衬砌、三次衬砌，分为先仰拱、侧墙及中板、最后拱部、临时支撑、袖阀管劈裂注浆管，完成暗挖段全部模型后，可用于施工各个管理阶段。

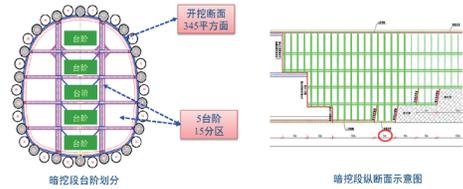


图8 拱北隧道暗挖段模型划分

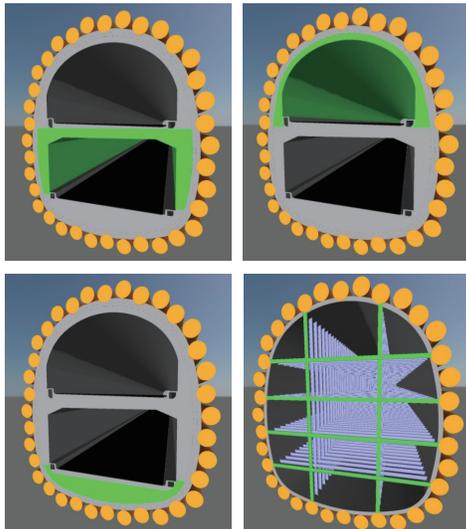


图9 拱北隧道施工模型

##### 2.施工进度管理

拱北隧道项目工期要求严格，在总体进度控制框架下，由施工单位在征求各单位的意见后，编制总体进度计划；然后利用Autodesk Navisworks软件强大的数据整合功能，将总体进度计划与BIM施工模型各构件相互关联，采用软件二次开发方式，实现拱北隧道施工进度管理系统。

施工进度管理系统，整合工程项目各单位计划进度信息，在施工过程中重点监控进度执行情况，协助总体单位完成进度的动态控制，当系统采集的进度执行情况与计划情况不一致的时候，系统会主动提示并持续跟踪和反馈；4D施工模拟更是以可视化的方式，向众多参与方，集成展示整个项目的总体进度情况，严格控制工期起到重要作用。

##### 3.漫游与工序模拟

拱北隧道工程复杂，主要对复杂工点进行工

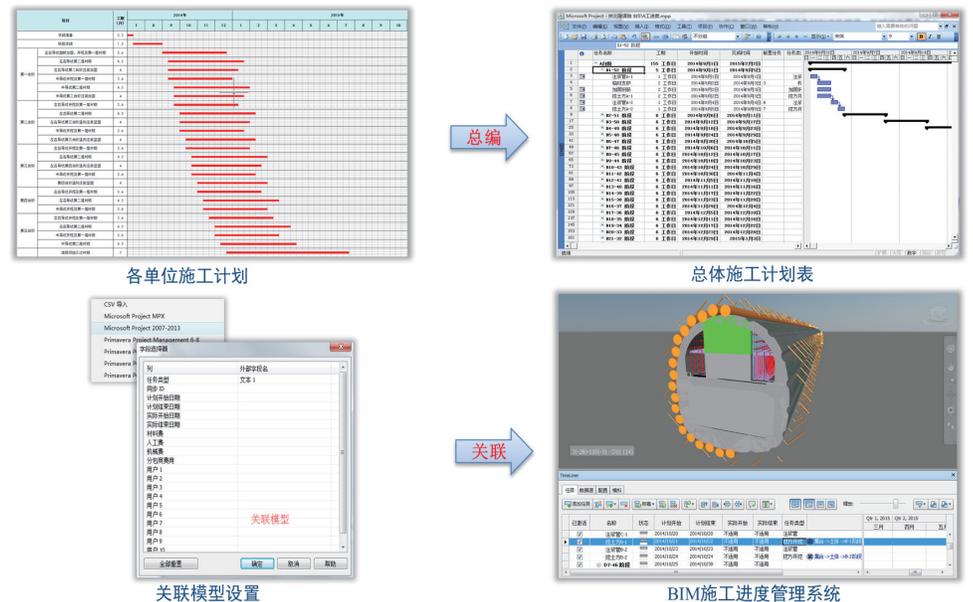


图10 拱北隧道施工进度管理

序模拟，利用游戏引擎强大的展示功能，制作三维施工工序模拟，可以直观浏览、检查和方案的修改，有效应对拱北隧道工程项目工序复杂的挑战。



相对于传统模式，基于BIM技术的管幕温度监控系统可以结合三维模型对于历史数据、监测点位置等多个方面进行综合分析，可以更加准确、及时定位于风险的位置，使项目的安全与质量得到提升。



图11 工作井工序模拟

### 五、项目创新

经过充分的调研和专家咨询，项目组针对拱北冻结法施工，结合BIM技术特点，制定了管幕冻结设计方案，开发了管幕温度监控系统。为配合暗挖施工，冻结管幕横断面上分为A、

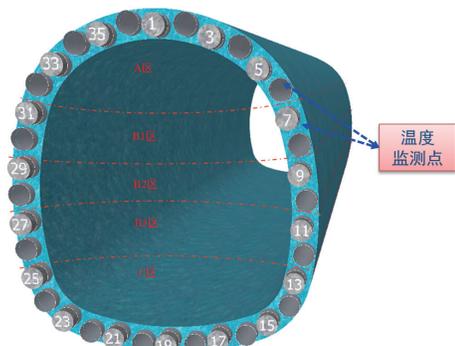


图12 管幕温度监测点布置图

B1, B2, B3, C五个区。为控制土体的冻胀效应，采用控制性冻结施工，并在冻结A区及局部敏感区域采用注浆改良冻结法。同时，分别在各区安装温度传感器，以便掌控温度的变化情况。

拱北隧道冻结法管幕温度监控系统，首先需要建立冻结管、监测点BIM模型。然后，对监测点进行编号，将温度采集数据与BIM模型构件关联。管幕温度监控系统，实现温度数据关联、温度变化趋势查询、温度预警以及风险定位等功能。相对于传统模式，基于BIM技术的管幕温度监控系统可以结合三维模型对于历史数据、监测点位置等多个方面进行综合分析，可以更加准确、及时定位于风险的位置，使项目的安全与质量得到提升。

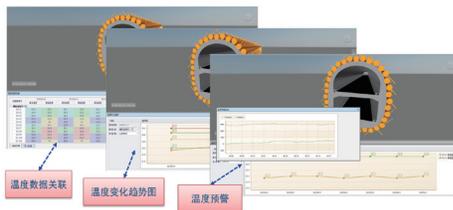


图13 拱北隧道冻结法管幕温度监控系统

### 六、结语

为了规范建立BIM三维建模，项目组制定了中交二公院隧道BIM的建模标准、应用标准、协同标准及交付标准，并研发了企业级BIM构件管理系统。形成中交二公院自主知识产权，为BIM技术在中交二公院工程项目中的应用与推广起到积极作用。

在建立隧道横断面和道路路线的BIM模型时候非常困难，项目组将Autodesk Revit建模软件与中交二公院自主研发的路线专家系统结合，自动创建三维线形实体。拱北隧道BIM建模项目由四大专业协同设计完成。最终建立隧道BIM构件308个，并全部录入企业级BIM族库管理系统，形成中交二公院自主知识产权，并为项目组协同管理、快速建立BIM模型起到积极作用。

隧道BIM技术应用尚处于初始阶段，面临着各种各样的难题，中交二公院将继续实施BIM技术研究推广应用的战略，积极参与编制技术标准、研发关键技术、构建技术共享平台、提供公共信息服务。只有这样才能使BIM技术释放出更大的力量，从而推动工程行业技术不断进步，获得更大的经济和社会效益。

目前，正是中国交建企业由传统二维平面设计向空间BIM三维技术战略转型的重要阶段，中交二公院作为路桥及隧道工程方面，我国公路勘察设计行业综合实力最强的企业之一。拟将BIM技术在拱北隧道项目中的成功经验及应用成果扩展到其它工程领域，更进一步推广到整个中国交建的业务领域，助推中国交建向空间BIM三维技术转型目标的实现。探索基于BIM技术的全新工作模式与方法，更可以提高中国交建的技术水平，使其在设计、施工、投资领域再创新业绩、再上新台阶。