

# BIM 技术在变截面钢箱拱桥制造中的实践效果

李 顿

中铁工业中铁九桥工程有限公司 江西 九江 332000

**【摘 要】**：变截面钢箱拱桥作为一种兼具美学价值与工程技术特性的桥梁结构类型，其凭借其显著的跨越能力、优异的力学性能以及独特的外观设计，在大型跨海桥梁工程建设中得到广泛应用。其中，厦门至金门间的重要通道——厦金大桥的关键区域观音山沙滩桥拱肋，采用该结构形式。在观音山沙滩桥拱肋实际制造过程中，由于变截面参数的多变性、高标准的质量要求以及复杂的工艺流程等因素，项目团队面临诸多技术挑战。为此，本研究首次将建筑信息模型（Building Information Modeling, BIM）技术引入到观音山沙滩桥变截面钢箱拱肋全生命周期制造的关键环节，重点围绕三维模型向二维详图转换、整节段拱肋中心点定位优化、胎架空间布置分析改进、壁板厚度校核验证提升、制造过程仿真模拟创新以及潜在冲突预警功能开发等方面展开技术创新与实践探索。通过上述措施，不仅提高了观音山沙滩桥拱肋构件加工精度和现场安装效率，还显著减少了材料损耗并降低了施工安全风险，为同类型变截面钢箱拱肋制造工程提供了重要的理论支撑和技术参考。

**【关键词】**：BIM 技术；变截面钢箱拱桥；观音山沙滩桥拱肋；智能制造；工程实践

DOI:10.12417/2705-0998.26.06.004

## 引言

我国交通基础设施建设的快速发展，显著推动了跨海与跨江桥梁工程数量的持续增长。建筑信息模型（BIM）技术以三维数字化模型为基础，融合工程全生命周期的数据资源，致力于实现设计与施工阶段的可视化及一体化协同管理。本研究将 BIM 技术引入厦金大桥观音山沙滩桥变截面钢箱拱肋的制造环节，重点针对该拱肋制造过程中的核心工艺难题构建系统化的解决方案。借助 CATIA 软件实现三维建模、数据分析以及虚拟仿真等关键技术的应用，突破传统制造方法的技术瓶颈，显著优化观音山沙滩桥拱肋的制造质量与生产效率，为该构件制造工程的顺利推进提供有力支持。基于观音山沙滩桥拱肋的实际应用场景，本文深入探讨 BIM 技术在该类型桥梁构件预制领域的具体实践路径及其效果评估，旨在为行业创新与发展积累理论依据与实践经验。

## 1 工程概况

厦金大桥厦门端起始点位于环岛东路与会展北路的交界处，随后通过隧道沿环岛路延伸至观音山，观音山沙滩桥作为厦金大桥的关键组成部分，其拱肋采用变截面钢箱拱桥结构，是本研究的核心工程对象。观音山沙滩桥拱肋采用双肢异型钢箱提篮拱结构，沿拱顶中心线南北对称，南北侧共划分为 74 个节段，截面采用等腰梯形倒圆角截面，由拱顶 5m×5m 线性渐变至拱脚 8m×8m，拱肋标准制造节段长 12m，全部采用 Q500qD 钢材（国内首次在该类型拱肋中规模化应用该型号钢材），总重量为 13592.3 吨。该拱肋由 4 个拱座支撑，包括两个海上拱座和两个岸上拱座，拱座总重量为 3912 吨；拱座的拱肋及拱肋内侧竖向加劲肋采用 Q500qD，角钢采用 Q355C，其余部件采用 Q420qD，全拱肋钢结构为全焊接结构。针对观音山沙滩桥变截面钢箱拱肋制造过程中存在的变截面渐变精度控制难、节段拼装偏差大等技术瓶颈，研究团队引入 BIM 技

术，依托 CATIA 软件建立了一套贯穿设计、生产及质量检测全流程的信息化管理体系，推动拱肋制造工艺实现智能化与精细化升级，不仅提升了工程质量，还大幅增强了施工阶段的安全管控效能。

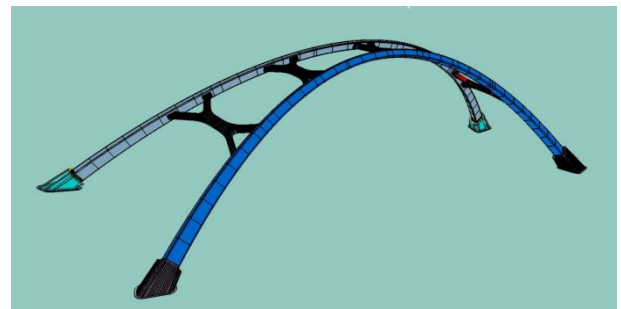


图 1 观音山沙滩桥拱肋整体布置示意图

## 2 BIM 技术在观音山沙滩桥拱肋制造中的核心应用

### 2.1 碰撞检查及设计图纸优化

项目团队依托 CATIA 软件构建了观音山沙滩桥变截面钢箱拱肋的三维数字化模型。在整个建模过程中，严格按照观音山沙滩桥拱肋设计图纸及相关技术标准，采用自上而下的建模思路，以拱肋骨架线为基础，对拱肋、腹板及隔板等关键构件的几何尺寸、材料属性和连接方式等核心要素进行精确采集，通过软件内置的数据管理功能实现信息的全面管控，最终形成高度还原拱肋实际结构的三维空间几何模型。该模型不仅能够清晰呈现变截面钢箱拱的空间形态及其内部构造，还详细记录了各组件间的位置关系与技术参数。基于此模型，利用软件的碰撞检查功能，优化设计过程中存在的硬碰撞及软碰撞，减少施工返工。

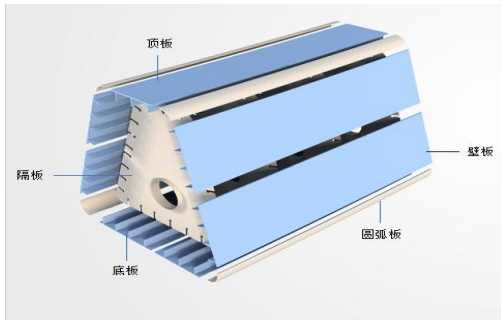


图2 观音山沙滩桥拱肋分块优化示意图

### 2.2 加工图纸生成

基于已构建的观音山沙滩桥拱肋三维 BIM 模型，依托 CATIA 软件参数联动功能，实现加工图纸的参数化生成，打破传统二维图纸设计的局限，区别于 Tekla 软件侧重型钢构件详图设计的特点，CATIA 软件更适用于该拱肋变截面曲线结构的图纸生成与参数调整。将拱肋节段渐变截面等核心参数与加工图纸直接关联，确保图纸与三维模型完全一致，避免二维图纸绘制中的尺寸偏差、信息遗漏等问题。针对拱肋 74 个节段的等腰梯形倒圆角截面、12m 标准节段长度等关键参数，通过 CATIA 软件生成节段加工详图、零件下料图、组装杆件图等。同时，为下料、拼装、焊接等工序提供精准的技术依据，大幅提升加工图纸的准确性和实用性，减少图纸复核工作量。

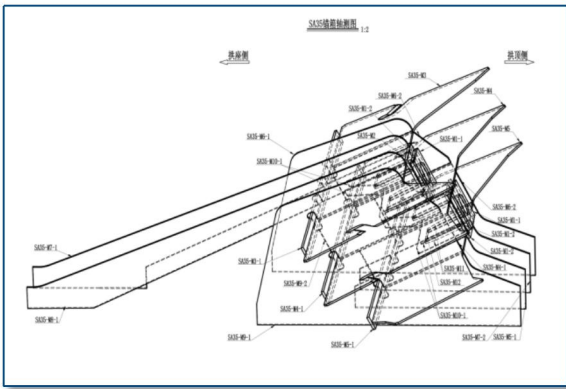


图3 观音山沙滩桥拱肋锚箱三维轴测图

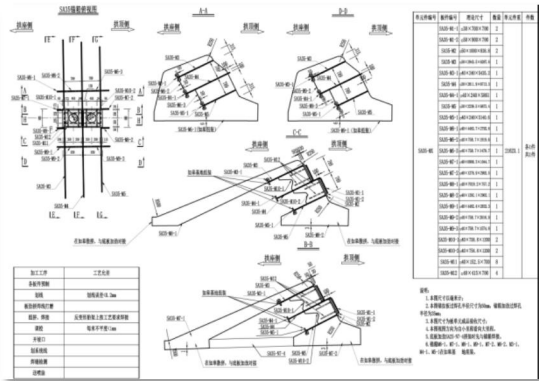


图4 观音山沙滩桥拱肋锚箱加工详图

### 2.3 优化制造方案

结合观音山沙滩桥拱肋的实际制造工况，利用 CATIA 软件构建的 BIM 模型开展制造方案的虚拟仿真与优化，重点解决变截面钢箱提篮拱制造中的难点问题。针对拱肋双臂异型钢箱结构、南北侧 74 个节段的拼装需求，通过 CATIA 软件模拟节段下料、拼装、焊接的全流程，优化节段划分及拼装顺序，避免交叉作业冲突。针对拱肋渐变截面的加工难点，借助 CATIA 软件的曲面功能，计算不同加工工艺的可行性，确定最优折弯、组拼方案，减少钢材损耗和返工率。同时，对胎架布置、吊装设备选型及吊装路径进行虚拟模拟，结合拱肋单节段重量、总重量等参数，优化吊装方案，确保吊装过程安全高效，为现场制造提供科学指导，助力观音山沙滩桥拱肋实现毫米级制造精度控制。

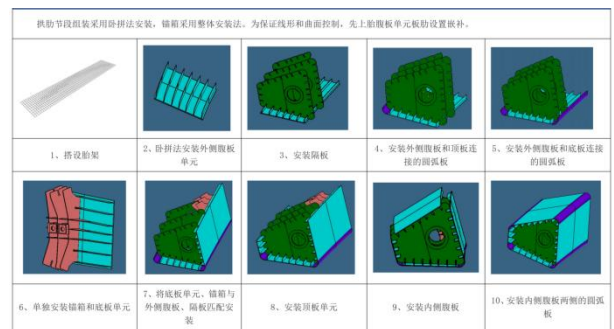


图5 观音山沙滩桥拱肋节段制造过程示意图

### 2.4 重心验算

观音山沙滩桥变截面钢箱拱肋截面尺寸渐变、重量分布不均（总重量 13592.3 吨），重心位置直接影响节段加工、吊装及拼装的安全性，依托 CATIA 软件的重心提取功能实现重心精准验算。通过 CATIA 软件构建的三维模型，精准提取各拱肋节段的几何尺寸、重心坐标等参数，利用软件内置的计算功能自动生成每个节段的重心坐标及重量数据。对比理论重心值与软件计算值，及时修正偏差，确保验算结果精准可靠。针对拱肋节段吊装环节，结合重心位置优化吊点布置，避免吊装过程中节段倾斜、变形，保障吊装安全；针对拼装环节，根据重心分布调整拼装姿态，确保节段对接精度，为全拱肋钢结构全焊接施工的质量和提供保障，有效规避因重心偏差导致的施工风险。

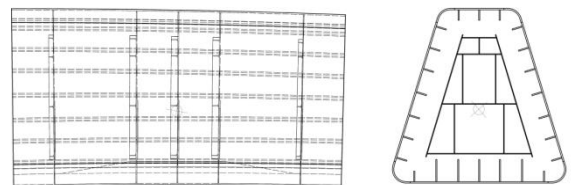


图6 观音山沙滩桥拱肋节段重心示意图

### 2.5 提取胎架坐标

胎架作为拱肋节段拼装的核心支撑结构，其坐标精度直接决定观音山沙滩桥拱肋节段的拼装质量，利用 CATIA 软件的 BIM 功能实现胎架坐标的精准提取与优化。基于 CATIA 三维模型，结合拱肋的空间曲线形态、节段尺寸及拼装要求，通过软件的坐标提取功能，精准获取胎架各支撑点的三维坐标，明确胎架的安装位置、高度及坡度参数。针对双肢异型钢箱提篮拱的对称结构，通过 CATIA 软件的对称校验功能，确保南北侧胎架坐标对称一致，贴合拱肋沿拱顶中心线南北对称的设计要求。将提取的胎架坐标导入现场测量设备，指导胎架现场安装，同时通过 CATIA 模型对胎架坐标进行实时复核，及时调整偏差，确保胎架安装精度符合设计标准。

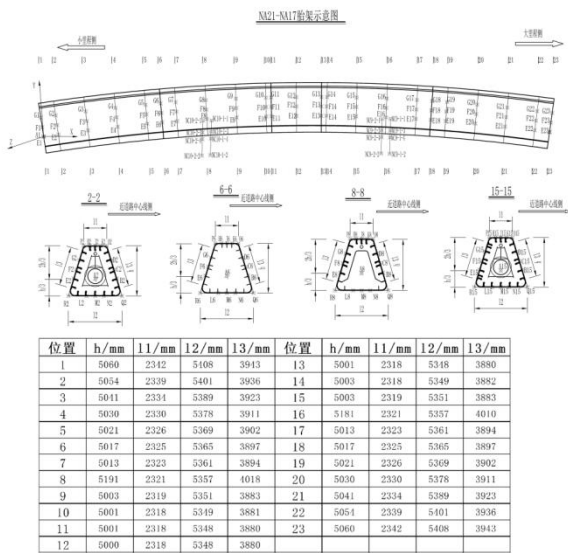


图 7 观音山沙滩桥拱座胎架控制点示意图

### 3 BIM 技术应用实践效果分析

观音山沙滩桥拱肋施工过程中，超大节段吊装与高空焊接等关键环节蕴含诸多安全风险。传统安全管理方式主要靠人工巡查，难以实现对复杂工况的实时监测与预警。运用 CATIA 软件的重心计算功能对施工方案进行三维虚拟化设计，通过软件精确提取构件重心坐标和重量，进而优化吊装工艺参数设置，有效预防构件倾覆、变形或坠落等安全事故；通过碰撞检

#### 参考文献：

[1] 侯宏韬,牛华伟,赵伟,等.基于风洞试验的钢箱系杆拱桥双区间涡振特性研究[J].铁道科学与工程学报,2025,22(11):4997-5006.  
 [2] 申彦利,韩建棒,杜鹏.CFRP-钢箱混凝土变截面新型跨座式轨道梁设计优化[J].混凝土,2024,(07):195-198+203.  
 [3] 王磊,李健刚.特大跨径拱桥异形钢箱拱肋畸变翘曲效应影响研究[J].市政技术,2024,42(06):125-134.  
 [4] 汪学著.杭钢河钢箱门式刚架桥总体设计[J].公路,2022,67(10):213-217.  
 [5] 张翔,颜全胜,贾布裕,等.高速铁路钢箱拱桥动力特性及模型简化研究——以南广高铁西江特大桥为例[J].铁道标准设计,2019,63(07):97-102.

测功能，可全面识别设备与结构间的潜在冲突，大幅降低施工期间人员伤亡和经济损失的风险；借助软件的可视化功能展示安全教育内容，有利于直观呈现施工全周期的风险特征及其应对方案，显著提升施工人员的安全意识与操作规范性。上述安全管理方法已在观音山沙滩桥变截面钢箱拱肋预制工程项目中成功应用，实现零事故目标。为更直观体现 BIM 技术的应用价值，将 BIM 技术应用与传统制造模式在观音山沙滩桥拱肋制造中的效果进行对比，具体如下表所示。

表 1 效果对比结果

评价指标	传统制造模式	BIM 技术应用模式 (CATIA 软件实现)	提升/改善幅度
拱肋拼装精度	±5mm 以上	±2mm 以内	提升 60% 以上
材料损耗率	12%	9.9%	降低 2.1 个百分点
安全事故发生率	偶发	零事故	彻底消除
图纸纸错误率	较高	降低 80%	降低 80%

### 4 结论

结合厦金大桥观音山沙滩桥变截面钢箱拱肋制造工程实践，将 BIM 技术依托 CATIA 软件应用于三维模型转二维图纸、核心数据提取、制造方案模拟、碰撞检测及设计图纸优化等核心环节，有效规避了传统制造模式的痛点。总体而言，BIM 技术在观音山沙滩桥变截面钢箱拱肋制造中具有显著的应用价值，能够有效提升制造质量、效率和经济效益，降低安全风险，为观音山沙滩桥拱肋制造的顺利推进提供了有力支撑，也为后续同类造工程提供了可借鉴的技术路径和实践经验。