

基于BIM的高速铁路连续梁0#块施工应用研究

韩左宁^{1*}, 林国久², 杨秉润³, 何 德⁴, 史奥运², 邱思媛⁵

¹中国铁路济南局集团有限公司青岛工务段, 山东 青岛

²中国铁路济南局集团有限公司鲁南高铁工程建设指挥部, 山东 潍坊

³中国铁路济南局集团有限公司临沂工务段, 山东 临沂

⁴中国铁路济南局集团有限公司青岛电务段, 山东 青岛

⁵河北地质大学土地科学与空间规划学院, 河北 石家庄

收稿日期: 2025年7月25日; 录用日期: 2025年8月15日; 发布日期: 2025年8月27日

摘 要

随着高速铁路建设的快速发展, 大跨度预应力混凝土连续梁因其优越的承载能力和抗震性能广泛应用于铁路桥梁建设中。尤其是在复杂地形和高负载环境下, 采用箱形截面的设计能够有效提升结构的稳定性。然而, 0#块作为连续梁的中支点, 其浇筑过程中的结构复杂性和钢筋密集性带来了诸多挑战。在混凝土浇筑过程中, 0#块的下料难度较大, 振捣棒无法直接到达需要振捣的区域, 尤其是支座上方和腹板底部的钢筋密集区, 易造成混凝土振捣不实, 并可能出现蜂窝、孔洞和骨料堆积等缺陷, 后期的整治与维修费用较高, 运营后面临天窗内施工等不利因素。为此, 本文依托某高铁工程, 选取高铁预应力混凝土连续梁的0#块, 采用多孔多点振捣施工工艺。通过BIM建模优化钢筋安装, 并配合布料串筒、预留振捣通道和模板开窗等措施, 有效预判风险点, 为各部位混凝土的充分振捣提供了保障, 从而较好地控制了施工质量。

关键词

高速铁路, BIM, 桥梁, 优化

Research on the Application of BIM Based Construction of High-Speed Railway Continuous Beam 0# Block

Zuoning Han^{1*}, Guojiu Lin², Bingrun Yang³, De He⁴, Aoyun Shi², Siyuan Di⁵

¹Qingdao Engineering Section, China Railway Jinan Group Co., Ltd., Qingdao Shandong

²Construction Command Center of Lunan High Speed Railway Project, China Railway Jinan Group Co., Ltd., Weifang Shandong

*通讯作者。

文章引用: 韩左宁, 林国久, 杨秉润, 何德, 史奥运, 邱思媛. 基于 BIM 的高速铁路连续梁 0#块施工应用研究[J]. 土木工程, 2025, 14(8): 2074-2083. DOI: 10.12677/hjce.2025.148225

³Linyi Engineering Section, China Railway Jinan Group Co., Ltd., Linyi Shandong⁴Qingdao Electric Power Section, China Railway Jinan Group Co., Ltd., Qingdao Shandong⁵School of Land Science and Space Planning, Hebei GEO University, Shijiazhuang HebeiReceived: Jul. 25th, 2025; accepted: Aug. 15th, 2025; published: Aug. 27th, 2025

Abstract

With the rapid advancement of high-speed railway construction, large-span prestressed concrete continuous beams are extensively employed in railway bridge projects due to their exceptional load-bearing capacity and seismic performance. This is particularly important in complex terrain and high-load environments, where the use of box section designs can significantly enhance the structural stability. However, the construction of Block 0, positioned at the midpoint of the continuous beam, presents numerous challenges due to its structural complexity and the high density of steel reinforcement during the concrete pouring process. During the pouring operation, difficulty arises in effectively consolidating the concrete in Block 0, as conventional vibrators may not adequately reach areas requiring vibration, especially in densely packed regions of steel reinforcement located above the supports and at the base of the web plate. This often leads to inadequate compaction, resulting in defects such as honeycombing, voids, and aggregate segregation. The subsequent remediation and maintenance costs can be substantial, compounded by the challenges posed by working in limited spaces post-construction. Therefore, based on a high-speed railway project, this article selects the 0[#] block of prestressed concrete continuous beam for high-speed railway and adopts the construction technology of porous multi-point vibration. By optimizing the arrangement of steel reinforcement through Building Information Modeling (BIM), and integrating approaches such as fabric string tubes, reserved vibration channels, and formwork openings, potential risk points were effectively identified. These measures ensured comprehensive concrete vibration across all sections, thereby improving construction quality and reliability.

Keywords

High Speed Railway, BIM, Bridge, Optimize

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

随着工程行业信息化水平的不断提升, BIM 技术作为一种集成多维信息的数字化工具, 逐渐成为现代建筑工程施工中的关键技术[1]。BIM 技术通过三维建筑模型, 实现设计、施工及运维阶段的信息共享与协同管理[2]。传统施工方法主要依赖于二维图纸和现场经验[3]。通过 BIM 技术三维可视化、施工模拟以及碰撞检测等功能, 为现浇梁施工的精细化管理提供了基础[4]。

BIM 可视化能直观展示现浇梁的结构细节和施工流程, 减少因图纸理解错误导致的施工失误[5]。BIM 的参数化建模和碰撞检测功能可以检查结构冲突, 优化施工方案, 降低施工风险[6]。通过 BIM 技术的施工模拟功能, 可以对现浇梁施工的各个阶段进行动态模拟, 提前规划施工进度和资源分配, 提高施工效率[7]。

现浇梁因其整体性好、适应性强的特点, 在现代工程建设中占据重要地位[8]。然而, 传统现浇梁施工过程复杂, 施工精度要求高, 且易受环境因素影响, 导致施工难度较大, 质量控制难度高[9]。在现浇

梁施工中，BIM 技术能够有效提升施工精度、优化施工流程、减少施工误差，并通过可视化手段增强施工过程的可控性[10]。鞠牧等[11]在杭绍台铁路小舜江特大桥的曲弦钢桁架加劲连续梁施工中，利用 BIM 技术结合激光投影辅助制造技术，显著降低了构件制造误差。

在施工进度管理方面，BIM 管理平台能将施工进度与三维模型相结合，通过实时更新和动态预警功能[12]。在施工安全方面，通过 BIM 技术模拟施工过程中的各种工况，提前识别潜在风险，降低施工风险[13]。

尽管 BIM 技术在现浇梁施工中的应用已取得显著成效，但在实际推广过程中仍面临一些挑战。BIM 技术的理解与应用仍停留于翻模和展示的阶段[14] [15]。综上所述，BIM 技术为现浇梁施工提供了全新的解决方案，通过提升精度、优化施工流程、加强施工管理，显著提高了现浇梁施工的质量和效率。然而，BIM 技术在实际应用中仍面临诸多挑战，需要进一步研究和探索。本文旨在探讨 BIM 技术在现浇梁施工中的应用现状，分析其优势与不足，并提出优化建议，以期为现浇梁施工的数字化转型提供参考和借鉴。

2. 工程概况

本文以某高铁工程中预应力混凝土连续梁为研究对象，全长 344 m，该连续梁位于 944#至 947#墩之间，为双线正线直线段，线间距为 5.0 m。施工方法采用支架现浇连续梁 0#块及边跨，并采用挂篮悬臂法浇筑悬臂段，拱肋通过梁上支架拼装。桥梁使用的预应力钢绞线为 $1 \times 7-15.2-1860-Q/CR 907-2022$ ，抗拉强度 1860 MPa，波纹管为符合标准的圆形镀锌金属材质，并设置自锚式拉丝法锚固体。桥内设有横向及竖向预应力筋，竖向使用抗拉强度 1860 MPa 的缓黏结钢束，所有材料均符合国家标准。中墩设有三个支座，边墩有两个多向活动支座，并在箱梁中心线处设置横向限位装置。项目如图 1 所示。

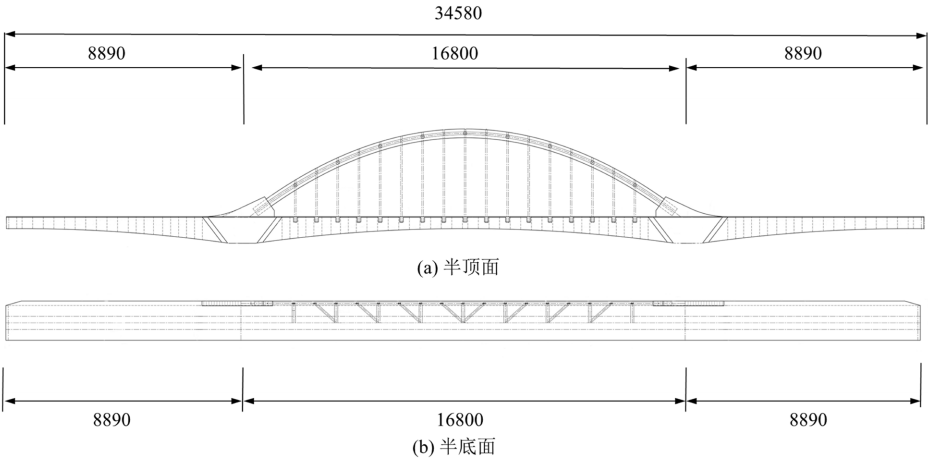


Figure 1. High speed railway bridge
图 1. 高铁桥梁

3. BIM 模型

3.1. 结构模型

3.1.1. 主体构造

从几何构造的角度，可以将连续梁的主体构造看成是多个梁体节段组拼而成，每一个梁体节段可以通过其两端的截面形状及节段长度来表达，因此，只需两端的截面形状及梁体节段长度、放样路径即可

完成全部梁体节段构造的描述。

本文所有梁节段的构造,均采用梁节段两端的截面形状、梁体节段的长度和放样路径模型来描述。以两端的截面形状基点为放样拉伸或融合路径;由各节段端点处对应的截面形式构成等截面或变截面等多种形式的梁体节段。

3.1.2. 构造钢筋

连续梁钢筋主要包括主体构造和附属构造的钢筋,其中主体构造的钢筋主要包括梁体节段和齿块的钢筋;附属构造的钢筋主要包括三墙、接触网支柱基础等钢筋。相较于附属构造的钢筋而言,主体构造尤其是梁体节段的钢筋在连续梁的总钢筋中占比较大。

对于节段钢筋来说,主要包括边直段钢筋、合龙段钢筋、悬臂段钢筋以及 0#块钢筋。0#块钢筋与边直段钢筋类似,相较于其它节段钢筋而言,其布置形式和形状最为复杂,0#块钢筋是主梁钢筋的难点所在,其它节段钢筋的布置形式均可在 0#块钢筋中得以体现,因此本文主要针对 0#块中钢筋的布置形式和模型形状进行分析。

依据钢筋所处位置的不同,0#块钢筋的分类整体上主要包括顶板钢筋、腹板钢筋、底板钢筋以及其它构造钢筋,在此基础上再依据钢筋轮可分为主筋、联系筋和箍筋等不同类型,各类型钢筋长度也可分为定长钢筋和变长钢筋等,

① 顶板钢筋,从设计角度来看,主要分为顶板上网和顶板下网钢筋(钢筋网均存在顺桥向与横向钢筋),中间还存在竖向联系筋来保证顶板与底板钢筋网稳定性,整体上以顶板轮廓为约束进行布置,顺桥向钢筋通常为直线段钢筋,平行于顶板上下基准面布置;对于横桥向钢筋来说,钢筋平行于顶板上下基准面布置,由于梁截面顶部存在坡度导致顶板横桥向钢筋形状多为多段线钢筋,翼缘板处由于顶板厚度不同,导致翼缘板上下钢筋网间竖向联系筋为变长钢筋,具体长度取决于其所处位置的翼缘板厚度。

② 由于腹板的构造形状发生变化,造成腹板各位置处的钢筋特征如下:

腹板内外侧的顺桥向钢筋由翼缘板倒角处向下,按一定间距平行于水平基准面通长布置,两侧不受约束,为定长钢筋。

腹板箍筋为竖直的矩形钢筋,平行于横桥向基准面,由节段端部按一定间距布置至节段另一端;箍筋顶部和底部受顶板和底板约束,两侧受腹板宽度约束,靠近底板处有倒角。可将腹板箍筋为双肢筋交错布置,外侧受腹板约束,高度随截面的高度变化。

腹板箍筋与顺桥向主筋之间存在的横桥向联系筋,垂直于两钢筋网按排布置。

③ 底板钢筋与顶板钢筋一致,存在底板上下钢筋网,上下钢筋网联系筋由横桥向、顺桥向及竖向钢筋构成。

位于底板上网的横桥向钢筋在横隔板至节段端部之间,按一定间距平行于底板上部基准面布置;该钢筋两端受形体约束,为定长钢筋。底板上网的顺桥向钢筋按一定间距平行于底板上部基准线布置,为定长钢筋。

底板下网钢筋与底板上网钢筋布置规律一致。

连接底板上下钢筋网的联系筋,垂直于两钢筋网按排布置;两端受底板厚度约束,为变长钢筋。

当 0#块存在加靴块时,底板上下网中的横桥向钢筋需延长至加靴块中,加靴块尺寸变化导致横桥向钢筋长度变化。

④ 横隔板钢筋由若干个钢筋网片组成,钢筋由顺桥向、横桥向以及竖向钢筋构成,由于过人洞口的存在使得横隔板的钢筋被分为四部分,每一部分的顺桥向钢筋为直线筋,两端受横隔板厚度约束,为定长钢筋。竖向以及横桥向钢筋也为直线筋,两侧受过人洞口以及一侧加靴块的约束,为变长钢筋。

连续梁整体、0#块、钢筋及预应力部分构件 BIM 模型如图 2 所示。

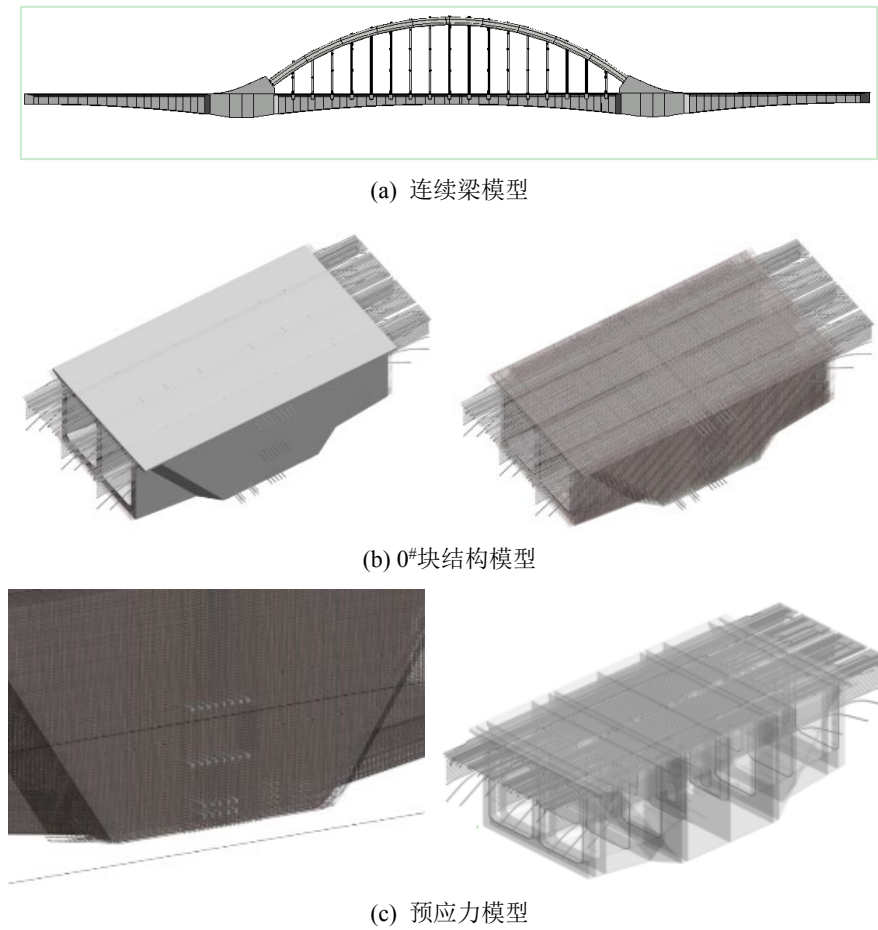


Figure 2. BIM Model
图 2. BIM 模型

3.2. 参数化建模

钢筋碰撞所用的 0#块钢筋模型中涉及钢筋类型较多，考虑到部分钢筋构造相似，仅尺寸存在差异，为准确高效建立 0#块钢筋模型，在制作钢筋族时将钢筋直径、弯钩角度、钢筋长度等尺寸作为主要控制参数，以快速建立不同型号及规格的钢筋族，如图 3 所示。

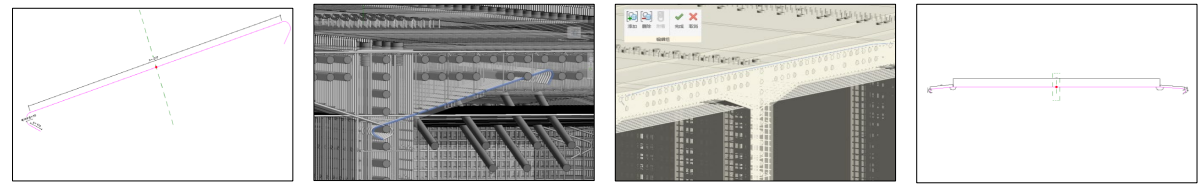


Figure 3. Parametric modeling of reinforcement families
图 3. 钢筋族参数化建模

4. BIM 应用

4.1. 预应力管道布设优化

在预应力混凝土施工中，钢绞线穿束前需按照设计坐标进行预应力管道布设，以确保钢束线形，使

箱梁处于全截面受压状态，保障施工安全和桥梁使用寿命。目前放样主要依赖二维施工图，存在设计图仅提供部分截面管道布置图耗时耗力，以及预应力筋呈空间曲线时需依据平曲线和竖曲线进行复杂测量和调整等问题。为优化预应力管道布置，建议基于 BIM 模型采取三步骤：检查桥梁上部结构和预应力管道模型、定位关键截面(如箱梁节段端部截面和预应力曲线的起止弯段)、剖切关键截面、标记管道位置并输出预应力管道布置图，以实现更高的施工精度和效率，减少出错率。预应力管道布置如图 4 所示。

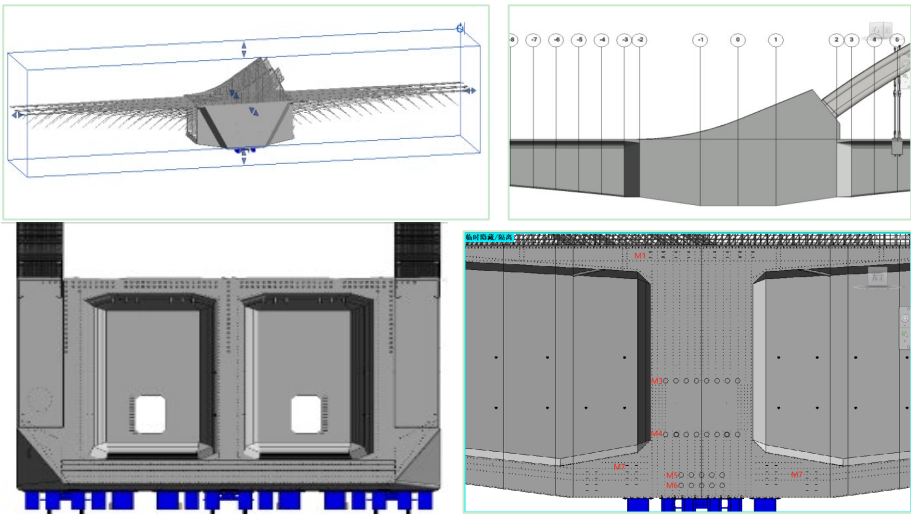


Figure 4. Optimization of prestressed duct layout
图 4. 预应力管道布设优化

4.2. 工程量统计

利用 BIM 技术依据常规模型构件型号、类型进行分类、分项统计钢筋族数量，如图 5 所示。

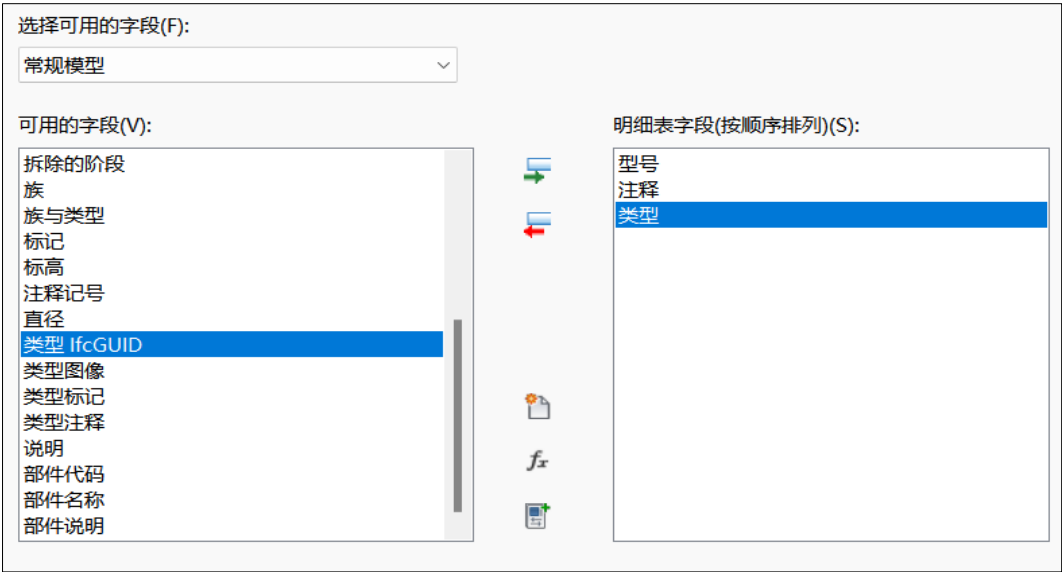


Figure 5. Statistical analysis of reinforcement quantities
图 5. 钢筋工程量统计

Table 1. Issues related to reinforcement quantities
表 1. 钢筋工程量问题

序号	钢筋类型	钢筋数量	图纸钢筋明细表中数量	问题原因
1	D1	420	420	钢筋预留长度不足
2	D1a	74	74	钢筋尺寸长度错误，工程量表中长 8768 mm，实际长度 10,120 mm
3	H22	324	132	按照图纸排列方式建模与钢筋表内标注数量冲突
4	J1	405	225	
5	J2	465	225	
6	K1a	252	200	
7	K2	162	180	因零号块底部非水平导致模型露筋所以缩减部分钢筋
8	L2	3194	2736	按照图纸排列方式建模与钢筋表内标注数量冲突
9	T1	140	140	钢筋预留长度不足
10	T1-1	188	188	
11	T1a	56	56	
12	T8	44	44	钢筋长度为定值，大样图显示变值
13	T8a	20	20	
14	X4	12	6	按照图纸排列方式建模与钢筋表内标注数量冲突
15	X6	4	8	

4.3. 轻量化

由于本项目设计以及现场工程管理工作极具复杂性，传统的信息沟通和管理方式已远远不能满足要求，且为解决施工时预埋件较小容易被疏忽遗漏以及预应力定位数据众多携带图纸不方便等问题，我们将预埋件模型以及预应力模型整理上传至平台，将施工时用到的信息和图纸挂接到对应的模型上，但传统 BIM 应用依赖于高配置的桌面客户端，要求具备高频 CPU、大内存和独立显卡。然而，在向 Web 端和移动端转型过程中，受到浏览器计算能力和内存限制的影响，现场技术人员在使用 BIM 数据时面临局限。为了解决这一问题，本文通过轻量化软件对模型进行深度处理，实现模型的轻量化显示，从而实现施工人员通过电脑或手机端可直观查看各种数据，为现场技术人员提供更便利的条件。轻量化模型如图 6 所示。

4.4. 碰撞检查

根据图纸，构建了高铁连续梁 0#块的结构模型、钢筋模型以及横向、纵向波纹管模型和竖向缓凝结钢束模型，并利用 BIM 技术进行钢筋碰撞检查。由于碰撞数量较多，决定对关键部位(如支座上方和腹板底部倒角)进行人工检查，发现多处问题，包括预应力波纹管与钢筋碰撞、钢筋布置超范围以及钢筋尺寸和数量不符，问题如表 1 所示。针对这些问题，及时向设计和施工单位反馈，并组织相关方进行研讨。最终，由设计单位根据“先调整普通钢筋、后竖向预应力筋、再横向预应力筋，保持纵向预应力筋管道位置不动”的原则，逐步调整钢筋位置、尺寸及布置范围，这些检测出的支座上方钢筋密集区、腹板底部波纹管与钢筋冲突等问题，直接导致传统振捣方式难以覆盖，为后续工艺中针对性采用加密布料串筒、模板开窗等措施提供了明确依据，以解决模型预判的振捣盲区，提高施工效率。碰撞检查如图 7 所示。

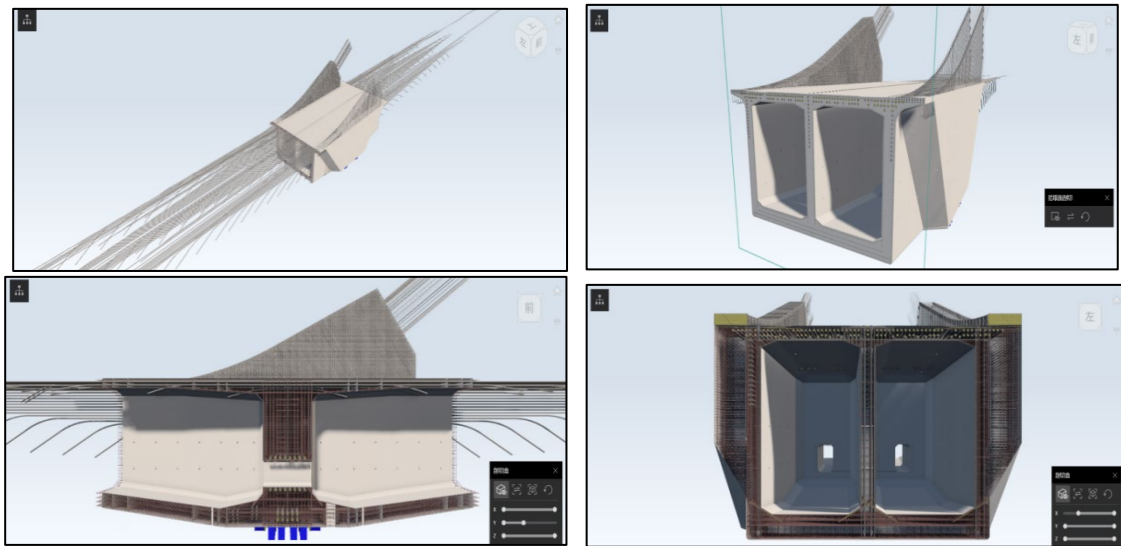


Figure 6. Lightweight model
图 6. 轻量化模型

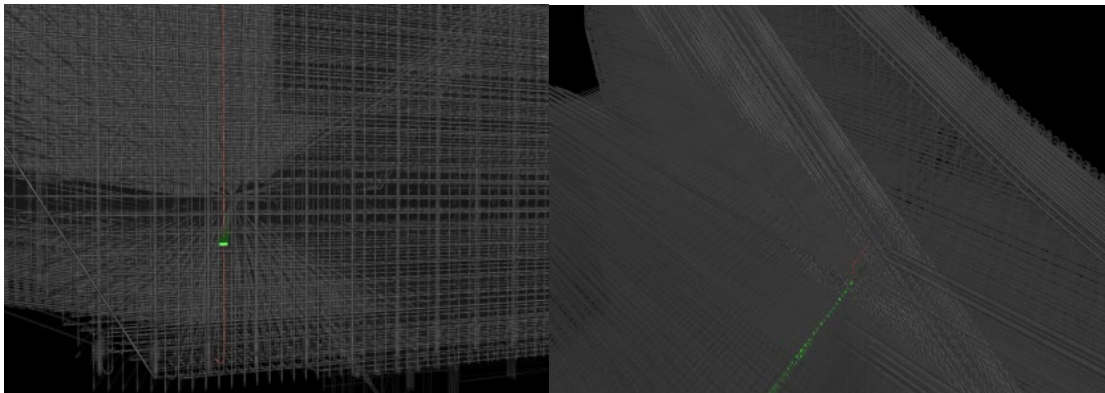


Figure 7. Collision check
图 7. 碰撞检查

5. 分层浇筑及开窗振捣

5.1. 设置布料串筒

在腹板处预置 $\phi 180$ mm 布料钢管(亦可作为振捣通道), 间距宜为 2 m, 混凝土自由落差不大于 1 m。在支座上方等钢筋密集区应加密布料管。

5.2. 分层浇筑

根据设计图纸要求, 施工顺序为先浇筑 0#块段, 再浇筑其余块段。混凝土浇筑前, 在内模板上开孔并下串筒至底板, 自桥跨中向墩两侧分成三个浇筑区域(底板区、腹板区、顶板区), 按照从外侧向内侧的顺序连续浇筑底板区域混凝土至倒角处, 并进行密实振捣, 以确保倒角混凝土无麻面现象。随后, 继续浇筑腹板和顶板混凝土。由于底板、腹板钢筋和波纹管较为密集, 必须确保混凝土下落高度不超过 2 m, 以防止离析和骨料下沉。在浇筑过程中, 需严格进行对称水平分层, 保持上下层前后浇筑距离在 1.5 m 以上。同时, 每次浇筑应一次性连续完成, 避免中间中断。0#块浇筑顺序如图 8 所示。

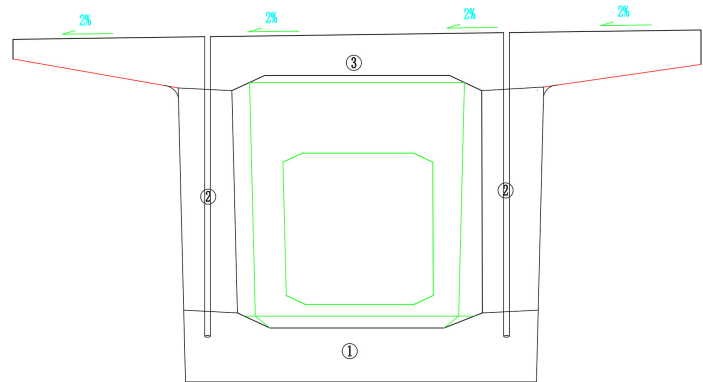


Figure 8. Pouring sequence of block 0#
图 8. 0#块浇筑顺序

5.3. 开窗振捣

混凝土主要采用插入式振捣来确保振捣质量。由于 0#块的腹板和横隔板高度较高，在每侧的腹板模板上开设 8 个 40 × 40 cm 的孔，位置与 BIM 模型检测出的腹板底部倒角、横隔板与腹板交接处等振捣盲区一一对应，以便插入式振捣棒能有效振捣加宽段及支座处的混凝土。同时，天窗配备插销式封闭门并围绕橡胶条，在混凝土浇筑至天窗位置时需关闭并牢固固定。插入振捣的厚度以 30 cm 为宜，需垂直等距离插入至下一层 5~10 cm，且振动半径不得超过 60 cm。现场振捣要求混凝土表面泛浆且不再冒气泡，以确保混凝土停止下沉。在振捣过程中，需一边振捣一边观察，以防漏振或过度振动。0#块开孔位置如图 9 所示。

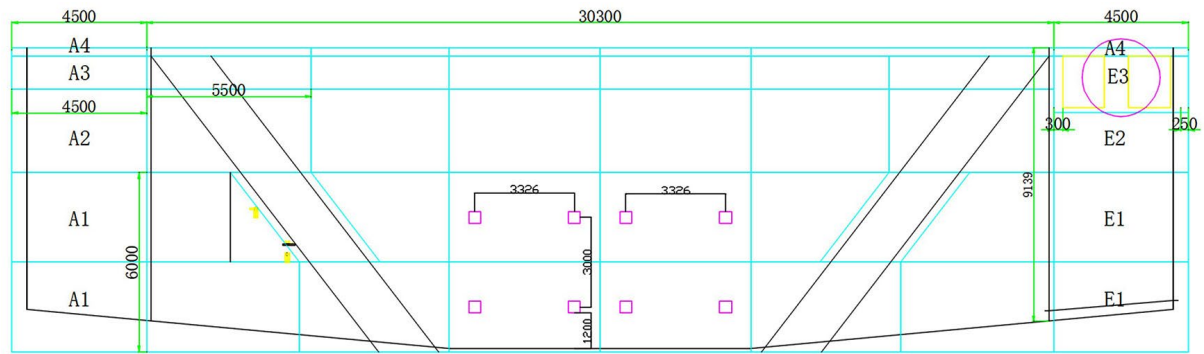


Figure 9. Opening locations of block 0#
图 9. 0#块开孔位置

5.4. 质量检测

在高铁连续梁 0#块拆模后，采用 BIM 技术结合传统检测手段对其进行了全面的质量检测。通过外观检查，梁体表面光滑、颜色均匀，未发现蜂窝和麻面等常见质量问题，这与布料串筒解决了模型预判的“骨料堆积”问题直接相关。利用 BIM 模型的可视化功能，施工人员精准定位检测区域，确保检测的全面性和准确性。混凝土达到龄期后，采用敲击和弹性波 CT 扫描方法进行质量检查，测线布置采用小里程到大里程对称布点，测点间距 20 cm。通过应用预应力混凝土梁多功能检测仪获取混凝土内部结构数据，快速分析其密实度及内部缺陷，分析结果显示其密实度和内部结构良好，符合设计要求。最终，利用 BIM 技术的信息化管理功能，将检测数据实时录入模型，实现了质量问题的可视化交底和信息共享。

6. 结论

本文以高铁预应力混凝土连续梁拱桥 0#块为研究对象, 结合 BIM 技术对其施工过程进行了系统研究与优化。通过 BIM 建模、参数化设计、碰撞检测、施工模拟以及质量检测等手段, 有效解决了传统施工方法中存在的诸多问题, 显著提升了施工质量与效率。主要结论如下:

(1) 优化施工流程。通过 BIM 建模与参数化设计, 优化了钢筋安装和预应力管道布置, 解决了钢筋密集区域混凝土振捣困难的问题。结合布料串筒、预留振捣通道和模板开窗等措施, 有效避免了蜂窝、孔洞和骨料堆积等常见缺陷, 从根源上避免了因振捣不到位导致的蜂窝、孔洞和骨料堆积等缺陷。

(2) 碰撞检测与施工模拟。利用碰撞检测, 及时发现并调整了钢筋碰撞、布置超范围等问题, 为施工工艺的参数设计(如串筒间距、开窗位置)提供了精准依据, 并提前规划了混凝土浇筑顺序和振捣路径, 确保了施工过程的顺利进行, 提高了施工效率。

(3) 质量检测与信息化管理。基于 BIM 技术的可视化功能, 结合敲击和弹性波 CT 扫描方法对 0#块进行了全面质量检测。检测结果显示, 混凝土密实, 无空洞, 质量符合设计要求, 直接印证了“模型预判问题-工艺针对性解决”逻辑的有效性。同时, 利用 BIM 模型实时录入检测数据, 实现了质量问题的可视化交底和信息共享。

参考文献

- [1] 《中国公路学报》编辑部. 中国桥梁工程学术研究综述·2024 [J]. 中国公路学报, 2024, 37(12): 1-160.
- [2] 解治敏, 黄武, 刘沛, 等. 基于国产 BIM 平台的铁路桥墩三维模型创建方法[J/OL]. 铁道标准设计, 1-8. <https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.202409180002>, 2025-03-09.
- [3] 吴梓楠, 韩小雷, 李建乐, 等. 建筑结构 BIM 正向设计的发展困境、关键技术与应用实践[J]. 建筑结构, 2024, 54(24): 136-144+135.
- [4] 刘安, 周彦涛, 胡勇勇, 等. BIM 技术在枢纽互通立交改扩建工程中的应用研究[J]. 公路, 2025, 70(2): 271-276.
- [5] 江文化, 谢学文, 杨向歌. 建筑企业推进数字化转型的路径与实践研究[J]. 铁道工程学报, 2024, 41(1): 88-92.
- [6] 胡振中, 冷烁, 袁爽. 基于 BIM 和数据驱动的智能运维管理方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(2): 199-207.
- [7] 史一丹, 鲍学英, 刘北胜, 等. 铁路桥梁不同建造方案碳排放对比及减碳策略分析[J/OL]. 铁道标准设计, 1-10. <https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.202403200006>, 2025-03-09.
- [8] 王桢, 周建庭, 张劲泉, 等. 现浇分段长度对万吨级平转斜拉桥受力的影响分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2020, 39(12): 44-52.
- [9] 戴世伟, 魏刚, 张琪, 等. 中东欧桥梁现浇梁后张法预应力施工关键技术[J]. 公路, 2024, 69(2): 34-38.
- [10] 马文安, 冯春萌, 孙辉, 等. BIM 技术在枢纽互通立交中的应用[J]. 公路, 2022, 67(2): 206-211.
- [11] 鞠牧, 王显进, 李志, 等. BIM 技术在曲弦钢桁架加劲连续梁桥施工中的应用[J]. 中国铁路, 2022(10): 80-84.
- [12] 王飞球, 何祥平, 郜辉, 等. 基于 BIM 的高铁连续梁桥施工过程可视化管理技术研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2022, 39(2): 111-118.
- [13] 孟凡成, 王万峰. BIM 技术在某变截面连续梁桥工程中的安全验算分析[J]. 公路, 2021, 66(8): 192-196.
- [14] 邱俊达. 基于 BIM 的公路桥梁设计优化探索[J]. 工程抗震与加固改造, 2024, 46(6): 196.
- [15] 沈霆, 卢天钰, 赵玉成, 等. BIM+GIS 结合倾斜摄影技术在桥梁工程中的应用[J]. 粘接, 2025, 52(2): 161-164.