

基于 BIM 技术的高低位组合钢栈桥应用研究

——以巴河大桥为例

陈 磊, 罗 利, 邓力铭, 王佳林, 何 冠

(中国五冶集团有限公司, 成都 610063)

摘要: 在特大桥的建设中, 栈桥作为重要的水上通道得到广泛应用, 栈桥设计也是桥梁工程顺利实施的重要环节。以巴河大桥 5# 墩基础、墩柱施工为工程背景, 针对桥址区巴河水位变化较大的特点, 为确保次年汛期前的主墩施工进度, 采用高低位组合钢栈桥方案, 并利用“BIM(建筑信息模型)+数字仿真分析”技术进行模拟与结构分析。通过 GIS(地理信息系统)获取各阶段洪水位高度, 以此确定栈桥搭设高度, 随后利用 MIDAS 软件对高低位组合钢栈桥结构各部件进行验算。结果表明, 高低位组合钢栈桥结构设计合理, 整体稳定性及安全性满足使用要求。高低位组合钢栈桥的成功应用, 可为同类型工程的施工提供一定参考和借鉴。

关键词: 特大桥施工; 高低位组合钢栈桥; 结构设计; 承载力验算

中图分类号: U448.18 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)03-0273-09

随着交通强国战略进一步推进, 我国大型桥梁建设不断增加, 水中墩柱施工也越来越多。临时钢栈桥作为水中桥梁基础施工的运输通道及施工平台逐渐被广泛使用^[1]。钢栈桥作为临时施工通道能够避免浮桥、浮吊等水中墩施工受通航、降水、水流等因素影响, 更适合应用在复杂地质水文条件下的跨河桥梁施工。其相对于传统的筑岛施工对水土环境更为友好, 更符合国家绿色发展的要求^[2]。

贝雷梁钢栈桥是使用最多的一种栈桥形式, 其主要由钢管桩、贝雷梁和桥面系 3 部分构成。贝雷梁钢栈桥施工速度快、装配方便快捷、承载能力大, 具有较高的实用性与经济性^[3], 在许多工程中得到了应用。国内已有工程技术人员在修建跨江大桥时对钢栈桥的应用进行了各种研究^[4-9]。王政松^[8]结合某大桥施工案例, 对深水区无覆盖层钢栈桥基础锚固方式进行了对比分析。刘永康^[9]以青衣江大桥墩柱基础施工为对象, 详细阐述了深水基础钢栈桥及冲孔平台“一桥一平台 L 布置”的方法与技术。陈圣^[10]结合工程实际情况对土谷塘湘江特大桥工程中钢栈桥的施工方案进行了阐述与分析, 并对工序与技术要点进行了探讨。

现以巴河大桥基础施工为背景, 提出低位组合钢栈桥方案, 解决水中基础及承台、墩柱施工难题, 并对高低位组合钢栈桥结构强度、刚度及稳定性进行验证, 以期为类似工程施工提供参考。

1 工程概况

拟建巴河特大桥位于四川省达州市境内, 横跨巴河, 桥梁中轴线与河道水流交角约 70°。该桥梁位于九节滩水电站下游约 665 m 处, 工程设计洪水受九节滩水电站防洪调度影响。桥梁采用分幅设计, 左右幅跨径组合均为 3×30 m T 梁+(110+198+110)m 预应力混凝土连续刚构+4×30 m T 梁。

主桥(110+198+110)m 连续刚构桥主墩为 4# 墩和 5# 墩(图 1), 主墩为钢筋混凝土双薄壁柔性墩, 顺桥向两墩柱净距 5.7 m, 截面尺寸为 2.3 m×8.8 m, 上下游设直径 230 cm 半圆形分水尖。主墩采用承台+群桩基础, 承台厚 3 m, 桩基为 4 根直径 2.0 m 的钻孔灌注桩。

桥址区属河流侵蚀堆积地貌, 横断面从下至上分别为河床、河漫滩、一级阶地、二级阶地。河床宽 230~250 m, 河漫滩宽 80~100 m, 枯水期河水流动较平缓, 河床中出露块石、基岩等。地面高程介于

收稿日期: 2023-11-12

基金项目: 中国五冶集团有限公司科技研发项目(ZGWY2019-114)

作者简介: 陈磊(1978—), 男, 河南信阳人, 高级工程师, 研究方向为公路桥梁技术; 通信作者罗利(1978—), 男, 四川宜宾人, 正高级工程师, 研究方向为道路与桥梁技术; 邓力铭(1996—), 男, 四川渠县人, 工程师, 研究方向为市政与桥梁技术; 王佳林(1993—), 男, 四川巴中人, 工程师, 研究方向为桥梁技术; 何冠(1995—), 男, 四川南充人, 工程师, 博士, 研究方向为桥梁技术。

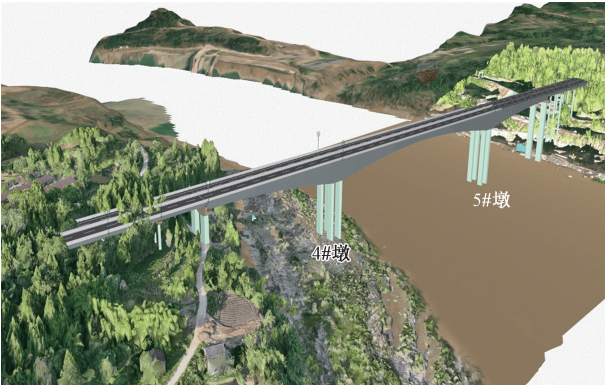


图 1 巴河大桥效果图

252.4~316.1 m,相对高差 63.7 m,工程范围内地面坡度起伏,自然横坡 20°~40°。其中 5 # 主墩常年位于水中,距右岸约 110 m。

2 方案比选分析

钢栈桥实施前,从上游水电站管理部门获取历史水文资料,通过水务地理信息系统(geographic information system,GIS) 对汛期洪水进行动态推演,根据推演结果使用 infraworks 以 RiverFlow2D_Infraworks 插件针对汛期的最大洪水流量、最大水面高程、最大流速进行模拟分析(图 2)。水文资料显示电站正常蓄水位为 265.4 m,利用水头为 14.4 m,水电站下游测时水位 252.0 m,十年一遇洪水位为 272.18 m,三百年一遇洪水位为 278.71 m。主汛期为每一年 4 月中旬至 10 月中旬,季节性水位差异 12 m 以上。

因大桥为整个项目的控制性节点,当年 10 月枯水期进场施工主墩基础,次年汛期来临之前,5 # 桥墩必须施工至洪水位标高 275.2 m 以上才能确保整个项目的工期。为实现工期目标,保证施工安全,结合巴河大桥的实际情况,对 5 # 墩水中基础施工拟定 3 个比选方案,见表 1。

选择正确的栈桥搭设方案对汛期之前的桥墩施工有至关重要的影响。通过表 1 各方案对比分析可知,选取高低位结合的栈桥方案最为合理。其中低位钢栈桥设置于 5 # 墩上游侧,主要在枯水期施工主墩桩基、承台及墩身下部约 10 m 高范围。其优点在于搭设速度快,确保了后续有充足的时间在 5 # 墩操作平台下游侧同步设置高位钢栈桥,方便洪水期施工 5 # 主墩墩身及上部结构。该方案搭设时间仅比一次性高位栈桥方案多 5 d,但抗水流冲击能力强,受汛期洪水影响小。

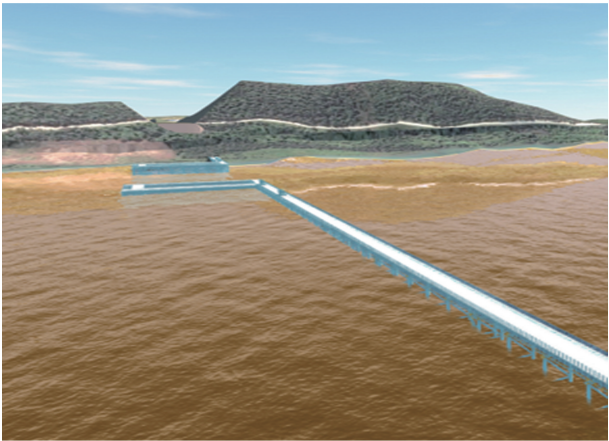
3 钢栈桥设计

3.1 钢栈桥布置

高低位组合钢栈桥平面布置如图 3 所示。高低



(a) 流量模拟图



(b) 高程模拟图

图 2 巴河洪水流量及高程模拟图

表 1 5 # 墩钢栈桥比选方案

序号	栈桥方案	施工对比	工期对比
方案 1	一次性高位栈桥	结构简单,但前期基础及承台施工不便,安全性差	施工工期短,90 d
方案 2	低位栈桥+接高栈桥	结构较为复杂,低位接高施工不易	分 2 期实施,前期低位栈桥,后续接高,工期长,110 d
方案 3	高位栈桥+低位栈桥	结构简单,施工衔接及工艺较为简单	分 2 期实施,前期实施低位栈桥,后期同步实施高位栈桥,施工工期短,95 d

注:高位栈桥指一次性搭设至水位 275.2 m 处;高低组合栈桥指在桥墩上游先搭设低位栈桥,搭设至水位 262.3 m,保障桥梁下部工程能先行实施,以便在汛期来临之前,5 # 墩下游平台处搭设高位栈桥,保障汛期正常施工。

位组合钢栈桥均按施工便道等级进行设计,设计车速 10 km/h。先期搭设的 5# 墩低位栈桥起于 6# 墩,在桥梁上游侧与桥轴线平行布置,止于 5# 墩,全长 132 m,宽 7.5 m;后续搭设的 5# 墩高位栈桥起于 7# 墩,在桥梁下游侧,与桥轴线平行布置,止于 5# 墩,全长 150 m,宽 6 m。

3.2 钢栈桥设计荷载

高位栈桥的设计荷载主要为 50 t 混凝土运输

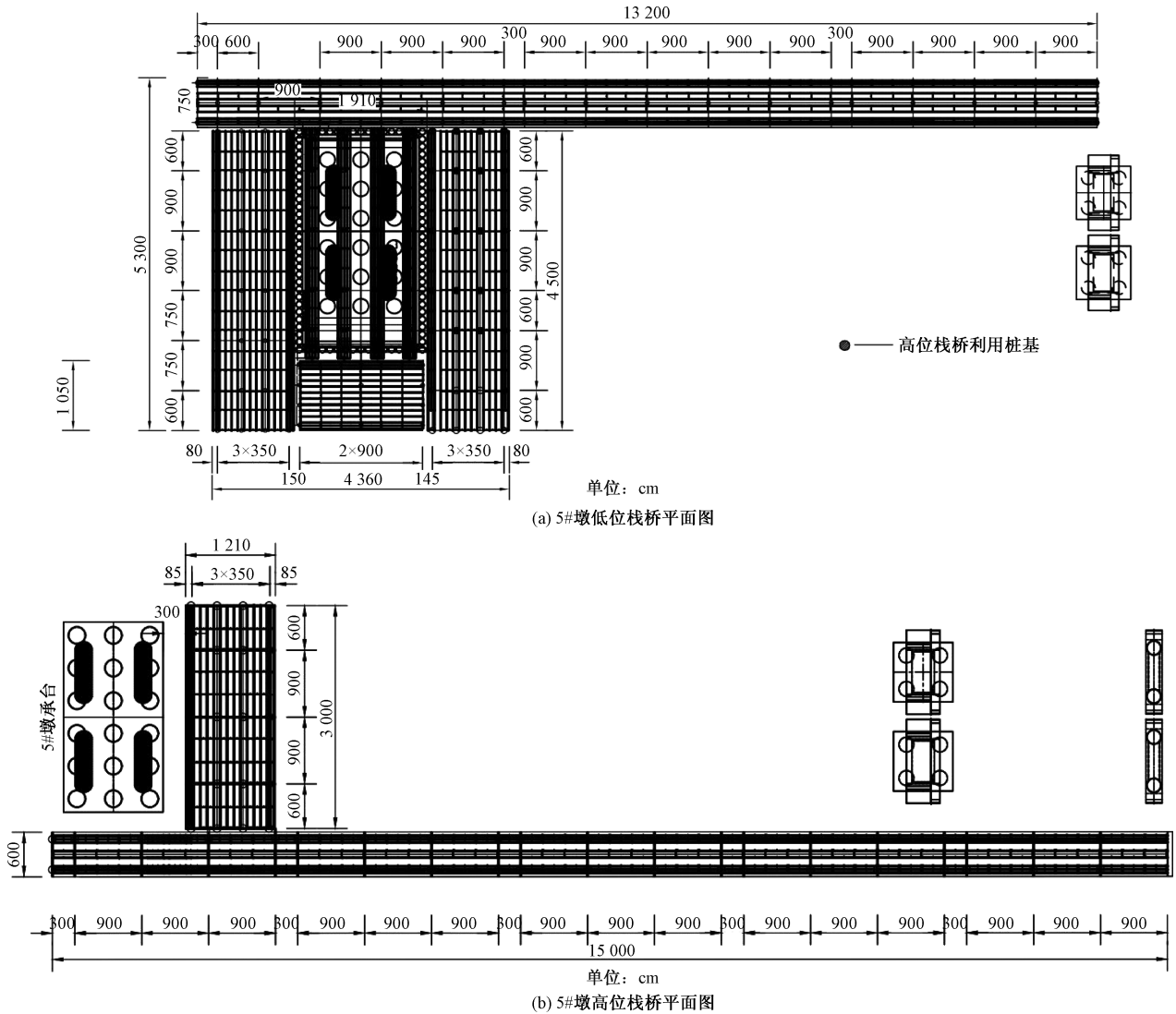


图3 钢栈桥布置

车与 100 t 履带吊, 低位栈桥设计荷载除了上述荷载外, 还有 420 V 旋挖机的 120 t 通行荷载与 141 t 施工荷载, 此外还有栈桥构件自重, 流水荷载按流速竖向倒三角分布计算。低位栈桥按 20 年一遇流速 3.14 m/s 计算得到水面最大流水压力为 2.53 kN/m, 墩底处为 0 kN/m。高位栈桥按 50 年一遇流速 3.33 m/s 计算得到水面最大流水压力为 3.71 kN/m。低位栈桥上汽车制动力荷载取旋挖机 180 kN, 高位栈桥上汽车制动力荷载分别取混凝土车 90 kN 与履带吊 150 kN。风荷载标准值根据《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)^[11] 计算, 得到高位栈桥为 0.85 kPa、低位栈桥为 0.56 kPa。漂浮物撞击荷载依据《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)^[12] 计算, 得到高位栈桥为 3.39 kN、低位栈桥为 3.2 kN。

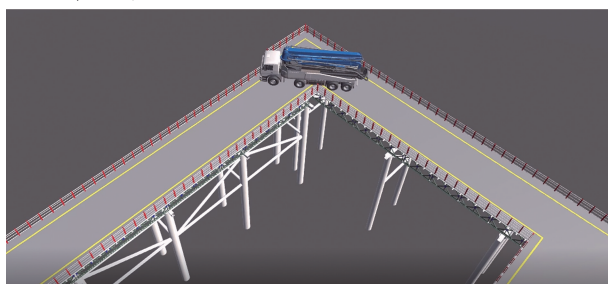
针对上述荷载设计值, 对各种作用效应进行组合, 然后统一应用到钢栈桥模型计算中。

4 钢栈桥使用阶段模拟

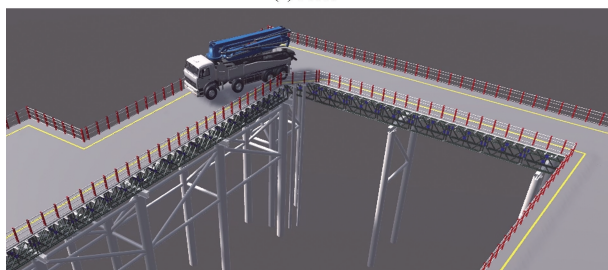
通过建筑信息模型 (building information modeling, BIM) 创建栈桥三维模型, 模拟添加施工各类机械 (混凝土运输车、混凝土泵车等), 1:1 还原施工场景。在模拟水下承台混凝土浇筑工况时发现原 6 m 宽支栈桥无法同时架设 2 台泵车, 故将原支栈桥加宽为 10.5 m, 并在转弯处设置倒角以解决运输设备通行难题, 如图 4 所示。

将分析模拟后确定的高低位组合钢栈桥分别在 MIDAS 软件中建立有限元模型进行验算, 每个计算模型均对 321 贝雷梁、桥面横梁 (I20a 工字钢) 及桩顶钢横梁 (I40b 双拼工字钢)、钢管桩墩柱等各部件进行强度和刚度验算。平台贝雷梁采用 Q355B (16Mn) 钢, 钢管桩、横向分配梁及其余构件均采用 Q235B 钢材, 钢材弹性模量均为 2.06×10^5 MPa。栈桥计算的有限元模型中贝雷梁、钢梁

以及钢柱均采用梁单元建立,并设定如下边界约束条件:①支架钢管立柱底部按固结模拟,约束整体坐标系 x 、 y 、 z 轴方向的平移自由度 D_x 、 D_y 、 D_z ,绕整体坐标系 x 、 y 、 z 轴方向的旋转自由度 R_x 、 R_y 、 R_z ;②钢管立柱顶部与钢盖梁之间采用共节点方式连接;③贝雷梁片之间销接位置采用释放梁端约束,模拟铰接;④贝雷梁与盖梁之间、桥面板与贝雷片之间的搭接,均采用弹性连接,包括整体坐标系 x 、 y 、 z 轴方向的弹性支承刚度 SD_x 、 SD_y 、 SD_z (刚度分别为 10^7 、 10^5 、 10^5 kN/m),绕整体坐标系 x 、 y 、 z 轴方向的转动弹性刚度 SR_x 、 SR_y 、 SR_z (刚度均为 10 kN/m)。



(a) 方案1



(b) 方案2

图4 转弯方案模拟图

4.1 低位栈桥结构验证

5#墩低位栈桥上部结构采用连续钢桁梁,跨径组成为 $(3.0+6.0+3\times 9.0+3.0+5\times 9.0+3.0+5\times 9.0)$ m。根据连续结构的受力特点及下部结构桩基的布置,对计算桥体进行简化,选取 $3\text{ m}\times 9.0\text{ m}$ 连续段建模验算。在 MIDAS civil 2022 中建立有限元模型(图5),其中贝雷片、钢梁及钢柱均采用梁单元模拟。

4.1.1 低位栈桥平台验算

在计算软件中输入上述低位栈桥的设计荷载与约束条件,便可计算得到栈桥各部位的受力及变形情况。其中贝雷桁架弦杆、腹杆的组合应力以及剪应力分布如图6所示。

图6显示,贝雷梁上下弦杆、腹杆的最大拉应力分别为 162.6 MPa 和 171.5 MPa。最大压应力分别为 233.9 MPa 和 290.2 MPa,均小于 Q355 钢的抗拉、抗压、抗弯强度设计值 305 MPa;最大剪应力值分别为 119.8 MPa 和 25.2 MPa,均小于 Q355 钢

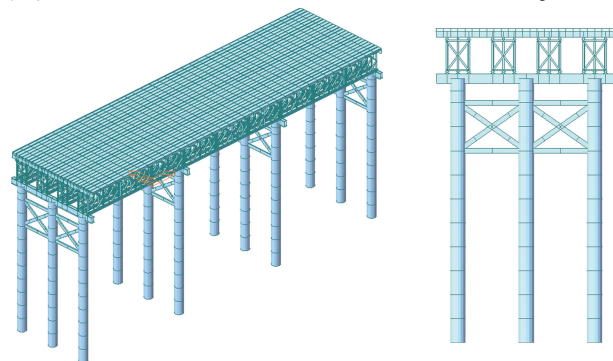


图5 低位钢栈桥简化计算模型

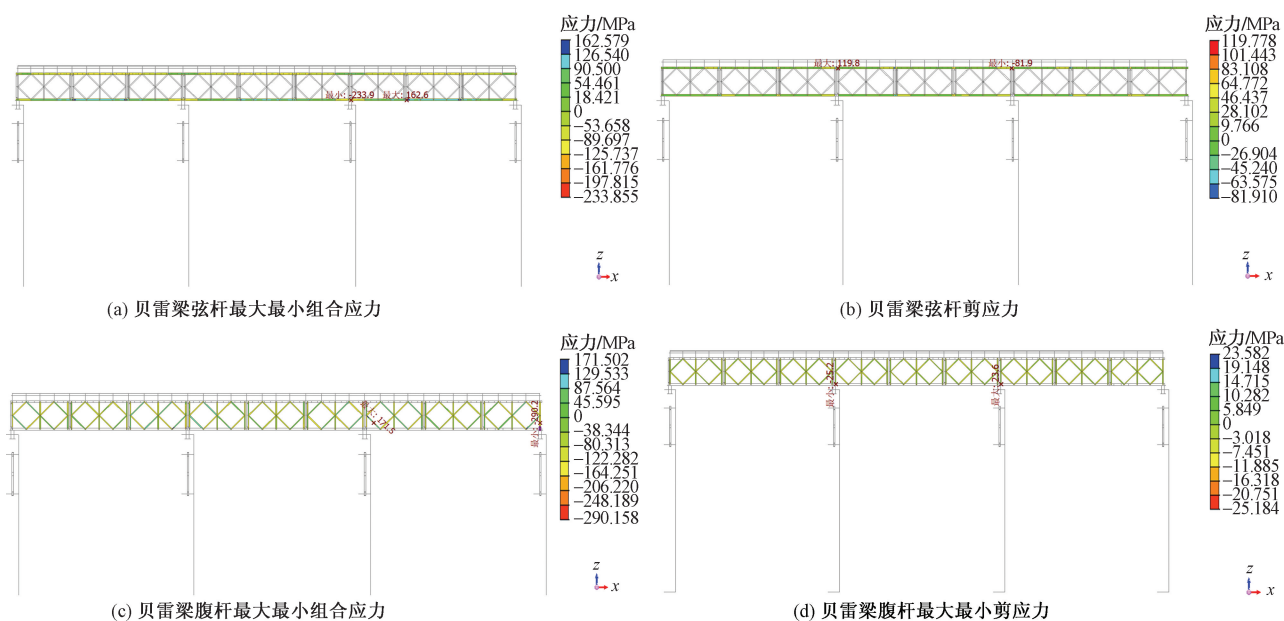


图6 低位栈桥贝雷桁架弦杆及腹杆应力

的抗剪强度设计值 175 MPa,满足规范要求。

贝雷梁的挠度验算如图 7 所示。贝雷梁最大竖向位移为 11.421 mm,小于规范中允许挠度值(跨度/500),即 $9\,000\text{ mm}/500=18\text{ mm}$,因此其刚度满足要求。

桥面横向分配梁、桩顶横梁的最大拉应力分别为 143.6 MPa 和 119.3 MPa。最大压应力分别为 142.6 MPa 和 124.6 MPa,均小于 Q235 钢的抗拉、抗压、抗弯强度设计值 215 MPa;最大剪应力值分别为 60.8 MPa 和 61.8 MPa,均小于 Q235 钢的抗剪强度设计值 125 MPa,满足规范要求。

桥面横向分配梁、桩顶横梁挠度验算如图 8 所示。桥面横向分配梁、桩顶横梁的最大竖向变形量分别为 -2.86 mm 与 3.993 mm,而规范要求的两个横梁竖向挠度允许值(即跨度/400)分别为 $900\text{ mm}/400=2.25\text{ mm}$ 与 $2\,850\text{ mm}/400=7.13\text{ mm}$,因此,桥面横向分配梁、桩顶横梁的刚度均满足要求。

4.1.2 低位栈桥墩柱验算

墩柱的自身强度及稳定性按顺桥向和横桥向

两种角度分别进行分析,其中顺桥向所考虑的荷载组合为自重+旋挖钻+制动力,横桥向荷载组合则为自重+旋挖钻+流水荷载+风荷载+漂浮物荷载。顺桥向荷载组合计算所得钢管桩墩身最大弯矩如图 9 所示。

从计算结果可知,墩柱截面最大弯矩为 315.8 kN·m,对应轴压力为 118.5 kN。低位栈桥墩柱钢管尺寸为 $630\text{ mm}\times 10\text{ mm}$,依据《钢结构设计标准》(GB/T 50017—2017)^[13],其截面强度验算如下:

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{\gamma_m W_n} = \frac{118.5 \times 1\,000}{22\,305.3} + \frac{315.8 \times 10^6}{1.0 \times 3\,904\,972} \approx 86.1\text{ MPa} \leq f = 215\text{ MPa} \quad (1)$$

式中: N 为轴力; M 为弯矩; A_n 为截面净面积; W_n 为净截面模量; γ_m 为截面塑性发展系数,对该墩柱截面取值为 1。计算结果显示,钢管的强度满足荷载设计要求。此外,对钢管桩的截面稳定性进行验算,其长细比 λ 为

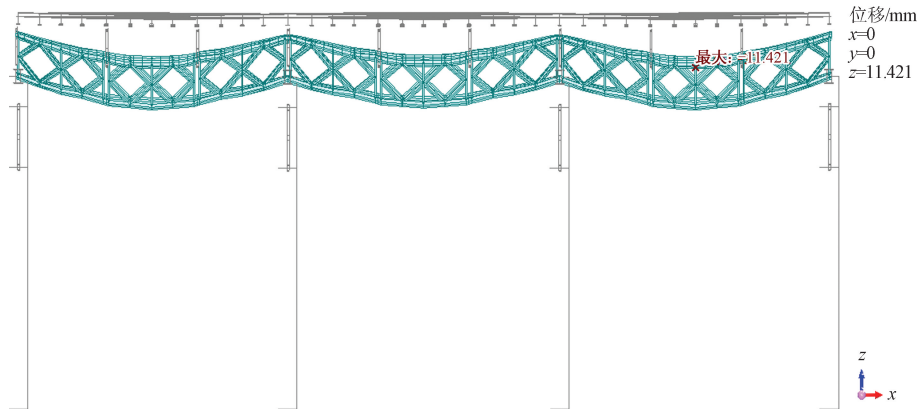
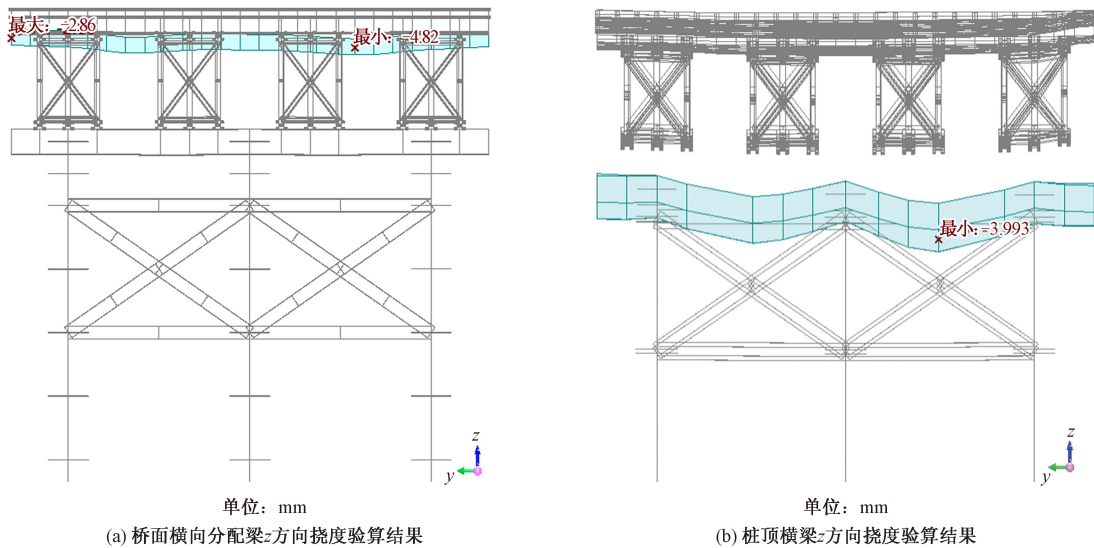


图 7 低位栈桥贝雷梁 z 方向挠度验算



(a) 桥面横向分配梁 z 方向挠度验算结果

(b) 桩顶横梁 z 方向挠度验算结果

图 8 低位栈桥横梁挠度验算

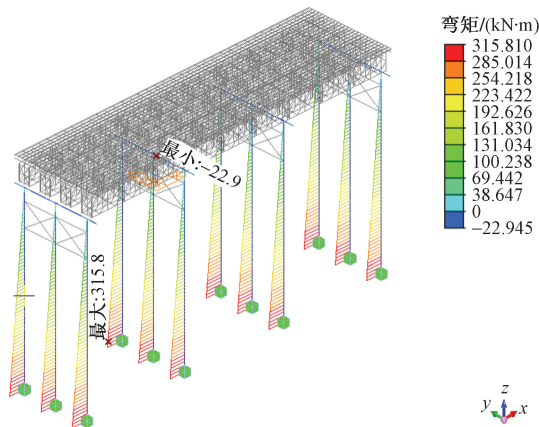


图9 顺桥向荷载组合最大弯矩

$$\lambda = l_0/i = 15\,000/251.0 \approx 60 \quad (2)$$

式中: l_0 为钢管桩的计算长度; i 为桩截面惯性半径。钢管桩的欧拉力 N_E 可进一步计算得

$$N_E = \frac{\pi^2 EA}{\lambda^2} = \frac{3.14^2 \times 206\,000 \times 22\,305.3}{60^2} \approx 12\,584.4 \text{ kN} \quad (3)$$

式中: E 为钢材的弹性模量; A 为桩的截面面积。根据式(2)中所得长细比 λ 查表得到稳定系数 φ 值为 0.807; 同时由于墩柱以单向受弯为主, 所以取等效弯矩系数 β 值为 1, 得到钢管桩顺桥向的稳定性验算式为

$$\begin{aligned} \frac{N}{\varphi A f} + \frac{\beta M}{\gamma_m W \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}}\right) f} = & \frac{118.5 \times 1\,000}{0.865 \times 22\,305.3 \times 215} + \\ & \frac{315.8 \times 10^6}{1.0 \times 3\,904\,972 \times \left(1 - 0.8 \times \frac{302.6}{19\,663.1}\right) \times 215} \approx \\ & 0.41 \leq 1 \end{aligned} \quad (4)$$

式中: β 为等效弯矩系数, $\beta=1$; N'_{Ex} 为临界轴力, 即屈服点的轴力; W 为毛截面模量。

式(4)计算结果显示, 低位栈桥钢管桩顺桥向的稳定性满足使用需求。

根据横桥向的荷载组合计算, 得出两个极限工况。工况 1 是墩柱截面弯矩最大, 对应最大弯矩为 117.4 kN·m, 最大轴力为 293.8 kN; 工况 2 是墩柱截面轴力最大, 对应最大轴力为 934.6 kN, 最大弯矩为 112.5 kN·m。

由此对截面进行强度验算, 如式(5)、式(6)所示, 结果显示两种极限工况下钢管桩截面强度均满足要求。

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{\gamma_m W_n} = \frac{293.8 \times 1\,000}{19\,477.9} + \frac{117.4 \times 10^6}{1.0 \times 2\,971\,921} \approx$$

$$54.9 \text{ MPa} \leq f = 215 \text{ MPa} \quad (5)$$

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{\gamma_m W_n} = \frac{934.6 \times 1\,000}{19\,477.9} + \frac{112.5 \times 10^6}{1.0 \times 2\,971\,921} =$$

$$85.8 \text{ MPa} \leq f = 215 \text{ MPa} \quad (6)$$

再结合式(2)、式(3)得到横桥向荷载在两种工况下的稳定性验算如下:

$$\begin{aligned} \frac{N}{\varphi A f} + \frac{\beta M}{\gamma_m W \left(1 - 0.8 \frac{N}{N_E}\right) f} = & \frac{293.8 \times 1\,000}{0.903 \times 19\,477.9 \times 215} + \\ & \frac{117.4 \times 10^6}{1.0 \times 2\,971\,921 \times \left(1 - 0.8 \times \frac{293.8}{28\,897.8}\right) \times 215} \approx \\ & 0.27 \leq 1 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{N}{\varphi A f} + \frac{\beta M}{\gamma_m W \left(1 - 0.8 \frac{N}{N_E}\right) f} = & \frac{934.6 \times 1\,000}{0.903 \times 19\,477.9 \times 215} + \\ & \frac{112.5 \times 10^6}{1.0 \times 2\,971\,921 \times \left(1 - 0.8 \times \frac{934.6}{28\,897.8}\right) \times 215} \approx \\ & 0.43 \leq 1 \end{aligned} \quad (8)$$

由验算可知, 低位栈桥的横桥向稳定性也满足要求。综上, 低位栈桥整体结构的承载能力得到验证。

4.2 高位栈桥结构验证

5# 墩下游侧平台连接高位栈桥, 跨径组成为 $(3 \times 9.0 + 3.0 + 3 \times 9.0 + 3.0 + 3 \times 9.0 + 3.0 + 3 \times 9.0 + 3.0 + 3 \times 9.0 + 3.0) \text{ m}$ 。根据连续结构的受力特点及下部结构桩基布置, 对高位栈桥也选取 $3 \text{ m} \times 9.0 \text{ m}$ 连续段进行简化建模验算。有限元模型如图 10 所示, 其中贝雷梁、钢梁及钢柱均采用梁单元模拟。

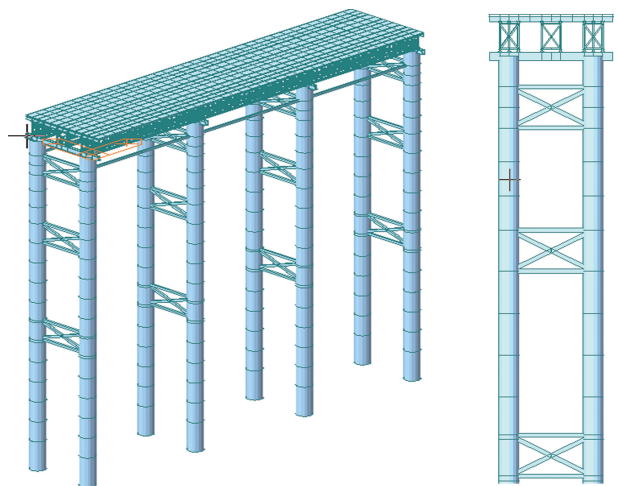


图10 高位钢栈桥简化计算模型

4.2.1 高位栈桥平台验算

根据高位栈桥的设计荷载与约束条件,计算得到栈桥各部位的受力及变形情况,其中贝雷桁架弦杆、腹杆的组合应力以及剪应力分布如图 11 所示。

图 11 显示,贝雷梁上下弦杆、腹杆的最大拉应力分别为 156.3 MPa 和 226.6 MPa。最大压应力分别为 198.3 MPa 和 231.8 MPa,均小于 Q355 钢的抗拉、抗压、抗弯强度设计值 305 MPa;最大剪应力值分别为 103.5 MPa 和 26.3 MPa,均小于 Q355 钢的抗剪强度设计值 175 MPa,满足强度要求。

贝雷梁的挠度验算如图 12 所示,贝雷梁最大竖向位移为 8.726 mm,小于挠度允许值(跨度/500) 18 mm,因此其刚度满足要求。

高位栈桥同样在桥面和桩顶上分别使用 I25a 横向分配梁和 I40b 双拼工字钢横梁,桥面横向分配梁、桩顶横梁的最大拉应力分别为 138.8 MPa 和 116.4 MPa。最大压应力分别为 138.5 MPa 和

126.6 MPa,均小于 Q235 钢的抗拉、抗压、抗弯强度设计值 215 MPa;最大剪应力值分别为 57.0 MPa 和 47.4 MPa,均小于 Q235 钢的抗剪强度设计值 125 MPa,满足强度设计要求。

桥面横向分配梁、桩顶横梁的挠度验算结果如图 13 所示,桥面横向分配梁、桩顶横梁的最大竖向变形量分别为 1.008 mm 与 3.344 mm,而两个横梁的竖向挠度允许值(即跨度/400)分别为 $900/400=2.25$ mm 与 $4\ 100/400=10.25$ mm,最大竖向变形量均小于规范允许值,因此,桥面横向分配梁、桩顶横梁的刚度均满足需求。

4.2.2 高位栈桥墩柱验算

高位栈桥墩柱的强度及稳定性也按顺桥向和横桥向两种角度分析,其中顺桥向所考虑的荷载组合为自重+履带吊+制动力,而横桥向的荷载组合则为自重+履带吊+流水荷载+风荷载。

顺桥向荷载组合计算所得钢管桩墩身最大弯矩

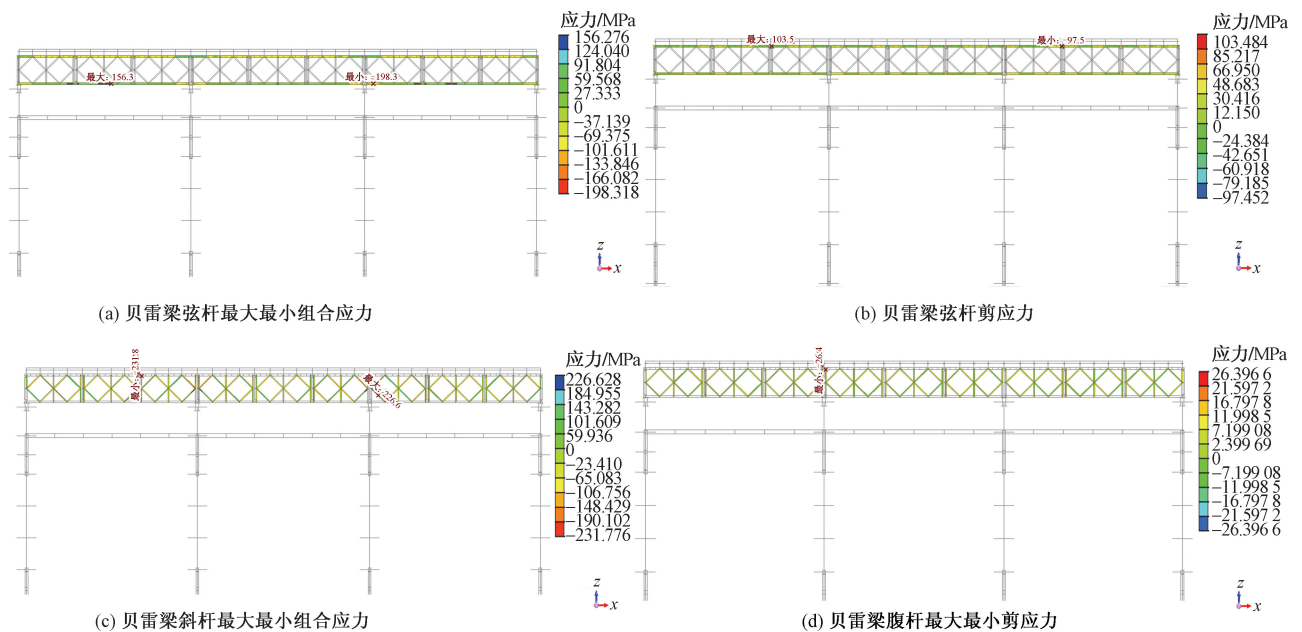


图 11 高位栈桥贝雷桁架弦杆腹杆应力分布

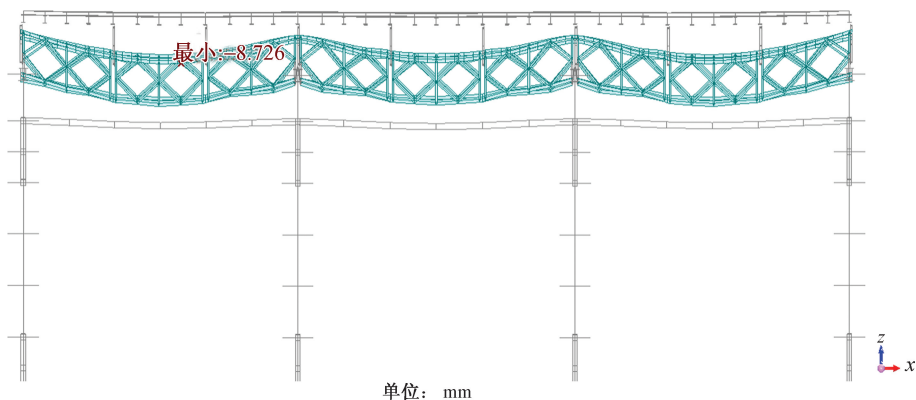


图 12 高位栈桥贝雷梁 z 方向挠度验算

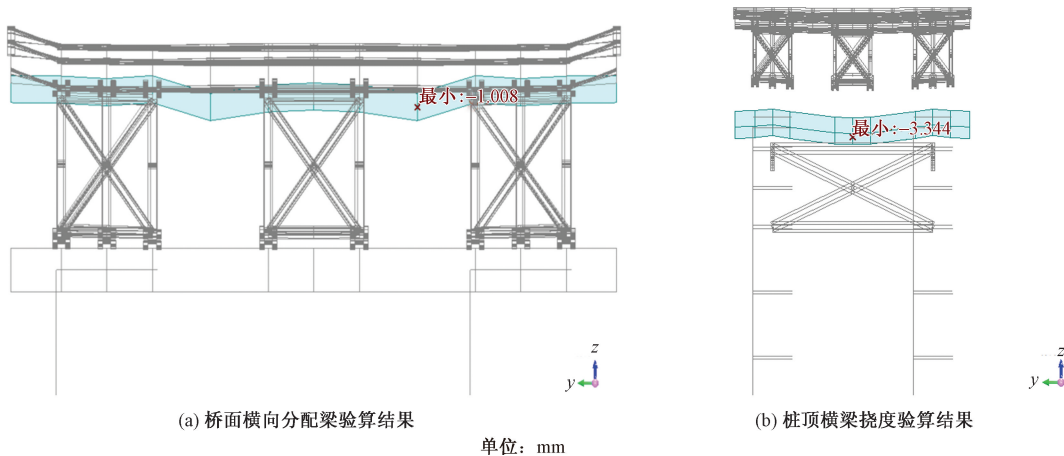


图 13 高位栈桥横梁挠度验算

图如图 14 所示。

计算结果可知,墩柱截面最大弯矩为 853.1 kN·m,对应轴压力为 750 kN。高位栈桥墩柱钢管尺寸为 1 000 mm×12 mm,依据《钢结构设计标准》(GB/T 50017—2017)^[13],其截面强度验算如下:

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{\gamma_m W_n} = \frac{750 \times 1\,000}{37\,246.7} + \frac{853.1 \times 10^6}{1.0 \times 9\,090\,882} \approx 113.98 \text{ MPa} \leq f = 215 \text{ MPa} \quad (9)$$

计算结果显示,钢管强度满足荷载设计要求。此外,该钢管桩顺桥向长细比 λ 为

$$\lambda = l_0/i = 1.5 \times 33\,000/349.33 \approx 141.7 \quad (10)$$

再进一步计算得到钢管桩的欧拉力为

$$N_E = \frac{\pi^2 EA}{\lambda^2} = \frac{3.14^2 \times 206\,000 \times 37\,246.7}{141.7^2} \approx 3\,767.7 \text{ kN} \quad (11)$$

根据式(10)中所得长细比 λ 查表得到稳定系数 $\varphi = 0.337$ 。由于墩柱以单向受弯为主,等效弯矩系数 β 取值为 1,由此得到钢管桩顺桥向的稳定性验算式为

$$\begin{aligned} \frac{N}{\varphi A f} + \frac{\beta M}{\gamma_m W \left(1 - 0.8 \frac{N}{N_E}\right) f} = & \frac{750 \times 1\,000}{0.337 \times 37\,246.7 \times 215} + \\ & \frac{853.1 \times 10^6}{1.0 \times 9\,090\,882 \times \left(1 - 0.8 \times \frac{750}{3\,767.7}\right) \times 215} \approx \\ & 0.797 \leq 1 \end{aligned} \quad (12)$$

由式(12)可知,高位栈桥钢管桩顺桥向的稳定性满足使用要求。

高位栈桥横桥向荷载组合计算结果如图 15 所示,此时得到最大弯矩为 690.1 kN·m,对应最大轴力为 1 604.7 kN。

截面强度验算如式(13)所示,两种极限工况下钢管桩截面强度均满足要求。

$$\frac{N}{A_n} + \frac{M}{\gamma_m W_n} = \frac{1\,604.7 \times 1\,000}{37\,246.7} + \frac{690.1 \times 10^6}{1.0 \times 9\,090\,882} \approx 119.0 \text{ MPa} \leq f = 215 \text{ MPa} \quad (13)$$

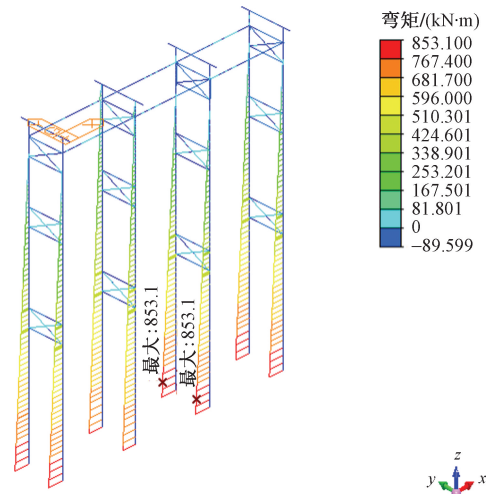


图 14 顺桥向荷载组合钢管桩墩身最大弯矩

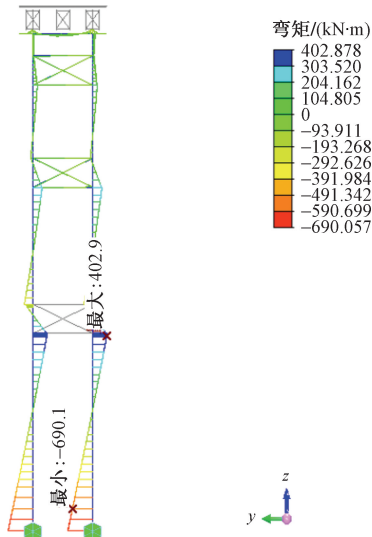


图 15 横桥向荷载组合计算最大弯矩

由图 15 可知,该钢管桩在横桥向增加了多道剪刀撑,其在横桥向的长细比 λ 为

$$\lambda = l_0/i = 13\,500/349.33 \approx 38.7 \quad (14)$$

进一步计算得到钢管桩横桥向的欧拉力为

$$N_E = \frac{\pi^2 EA}{\lambda^2} = \frac{3.14^2 \times 206\,000 \times 37\,246.7}{38.7^2} \approx 50\,511.8 \text{ kN} \quad (15)$$

根据式(14)中所得长细比 λ 查表得到稳定系数 φ 为 0.903,由此得到钢管桩顺桥向的稳定性验算式为

$$\begin{aligned} \frac{N}{\varphi A f} + \frac{\beta M}{\gamma_m W \left(1 - 0.8 \frac{N}{N_E}\right) f} = \\ \frac{1\,604.7 \times 1\,000}{0.903 \times 37\,426.7 \times 215} + \\ \frac{690.1 \times 10^6}{1.0 \times 2\,971\,921 \times \left(1 - 0.8 \times \frac{1\,604.7}{50\,511.8}\right) \times 215} \approx \\ 0.59 \leq 1 \end{aligned} \quad (16)$$

计算结果显示,高位栈桥横桥向稳定性也满足要求,从而高位栈桥整体结构的承载能力得到验证。至此,高低位组合钢栈桥结构的承载能力全部验证完毕。验证结果表明,高低位组合钢栈桥方案满足施工要求。

5 结语

通过“BIM+数字仿真分析”技术结合实际工程的地质水文情况,在确保上下游水位安全的前提下,结合巴河大桥工期目标,提出的高低位组合钢栈桥方案,有效保障了 5# 墩基础及墩身施工节点工期,确保了非汛期快速完成 5# 主墩水中基础及承台施工,为后续洪水期水位较高时继续施工墩柱上部结构赢得了时间。通过使用 MIDAS 软件对高低位组合钢栈桥各部件在不同荷载情况下的强度、

刚度及稳定性验算,结果也验证了方案的安全、合理和可行性。5# 墩钢栈桥目前已正常使用半年多,其应力与位移监测数据均在可控范围内,并与模拟分析结果基本一致,从而也印证了方案可行性。高低位组合钢栈桥方案的研究结果为类似钢栈桥的设计与施工提供了一种新的思路。

参考文献

- [1] 曾祥泽,吕敏,刘峥. 龙溪高架特大桥临时钢栈桥施工技术[J]. 西部交通科技, 2022(8): 144-145.
- [2] 祖重熙. 桥梁工程临时钢栈桥施工技术[J]. 工程建设与设计, 2023(10): 152-155.
- [3] 徐海彬. 高速公路施工临时钢栈桥施工计算[J]. 山西建筑, 2023, 49(15): 171-174.
- [4] 谢晓鹏,王娟,窦国涛,等. 钢栈道施工全过程抗风稳定性分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(24): 10045-10051.
- [5] 袁立斌,邱敏,宋友建,等. 珊瑚礁地层桥梁基础钢管打入桩承载特性[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(32): 13355-13361.
- [6] 罗利,王佳林,罗强. 砂卵石河床锁扣钢管桩围堰设计施工研究[J]. 科技和产业, 2023, 23(11): 249-256.
- [7] 罗利. 锁扣钢管桩围堰施工监测分析: 以嘉陵江三桥为例[J]. 科技和产业, 2023, 23(4): 206-212.
- [8] 王政松. 深水区无覆盖层钢栈桥基础锚固方式对比分析[J]. 铁道建筑技术, 2022(1): 76-81.
- [9] 刘水康. 桥梁深水基础钢栈桥及冲孔平台设计施工技术[J]. 技术与市场, 2022, 29(8): 120-122.
- [10] 陈圣. 不良地质条件下贝雷架钢栈桥结构分析及施工[J]. 四川建材, 2023, 49(3): 137-139.
- [11] 建筑结构荷载规范: GB 50009—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [12] 公路桥涵设计通用规范: JTG D60—2015[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [13] 钢结构设计标准: GB 50017—2017[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.

Study on the Application of High and Low Position Composite Steel Trestle Based on BIM Technology : Taking the Ba River Bridge as an Example

CHEN Lei, LUO Li, DENG Liming, WANG Jialin, HE Guan

(China MCC5 Group Corp. Ltd., Chengdu 610063, China)

Abstract: In the construction of super large bridges, trestle has been widely used as an important water passage, so the safe and reliable design of trestle is an important link for the smooth implementation of bridge projects. Taking the construction of the foundation and pier columns of Pier 5 of the Ba River Bridge as the engineering background, in response to the significant changes in the water level of the Ba River in the bridge site area, in order to ensure the construction progress of the main pier before the next flood season, a combination of high and low steel trestle bridge scheme was adopted, and utilized the “BIM (building information modeling) + digital simulation analysis” technology for simulation and structural analysis, the flood level heights of each stage were obtained through GIS (geographic information system) to determine the height of the trestle erection. Subsequently, MIDAS software was used to verify the various components of the high and low level composite steel trestle structure. The results indicate that the design of the high and low level composite steel trestle structure is reasonable, and the overall stability and safety meet the requirements of use. The successful application of high and low level composite steel trestle bridges provides certain reference and reference for the construction of similar projects.

Keywords: construction of super large bridges; high and low position composite steel trestle; structural design; bearing capacity verification