

# 等外航道钢栈桥设计与施工

杨阔

中铁十四局集团第四工程有限公司

**摘要:** 钢栈桥是采用钢管桩基础、贝雷梁为主承重梁的结构,一般用于跨越河流,其结构设计及施工技术越来越受到关注。本文以信江钢栈桥为案例,介绍了跨航道钢栈桥的结构设计、阻水分析、平交路口道路时交通组织、施工技术,总结了具有实际工程意义的结论,以供类似工程参考。

**关键词:** 栈桥结构;有限元计算;阻水分析;施工技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.06.095

## 一、工程概况

梨东高速改扩建工程中,信江为规划等外级航道,通航净空为12×2.5m。桥位处水面宽约62m,两岸有大堤。信江大桥设计角度90°,桥梁中心线与河道水流方向斜交30度。桥梁总长307.2m,桥梁全宽39m。为贯通信江两岸施工便道,快速便捷运输材料和机械,因此在信江大桥南侧设置一座钢栈桥。

## 二、钢栈桥设计

### (一) 钢栈桥总体布置

信江栈桥长度按照18m+18m+18m+18m=72m设计,栈桥中心线与信江垂直。18m跨桥面净宽4m,主纵梁选用贝雷片,桥面系选用型钢结构。全桥桥墩采用钢管桩基础,桥面无坡度。

### (二) 钢栈桥结构设计

栈桥由钢管桩基础、横梁、贝雷梁纵梁、分配梁、桥面板及附属设施组成。

桥墩基础采用钢管桩,钢管桩规格采用Φ630×10mm,布置形式采用3×1根,桩中心间距2.3m。每排钢管桩间的桩与桩之间设置平联结构,平联采用16#槽钢连接,钢管桩顶端开槽口,安放双拼I45工字钢作为盖梁,槽口处设置加劲板,盖梁选用整根的无连接焊缝的工字钢。盖梁上安放321型贝雷梁,在盖梁上设置型钢限位装置,安放贝雷梁。贝雷片横向采用70#花架连接。盖梁轴线与钢管桩桩头中心线需要保证竖向上重合,保证钢管桩不偏心受压。贝雷梁下弦杆上铺设I40a工字钢,间距1.2m。横向分配梁上铺设纵向分配梁I14工字钢,间距0.25m,纵向分配梁上铺设10mm花纹钢板。

### (三) 钢栈桥验算

#### 1. 计算单元及结构模型

为方便建模,以单跨简支结构进行结构强度与刚度的静力分析计算,采用Midas civil 2020有限元程序建立全结构空间模型。

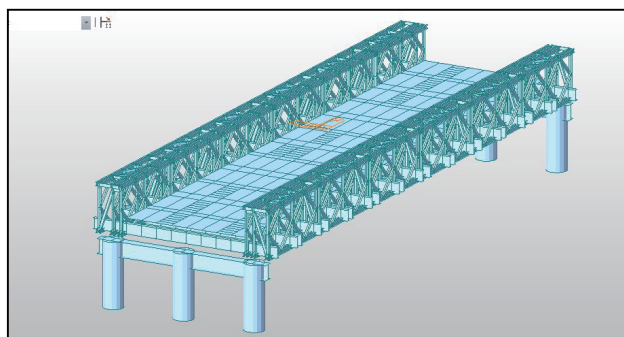


图1 桥梁单元结构模型

## 2. 作用组合

①根据规范,作为临时结构钢栈桥,上部结构按承载能力极限状态设计校核,取用基本组合。

$$S_{ud} = r_{G1K} \times S_{G1K} + r_{Q1} \times S_{Q1K}$$

②结构变形、刚度计算,采用标准组合,对下部结构采用标准组合计算。

## 3. 选取的控制计算工况

结合公路钢栈桥实际工作特性,取下列工况对结构进行结构状态验算,横桥向均考虑偏心设置。

工况一:钢栈桥跨中布载12m<sup>3</sup>罐车,横桥向偏心布置外侧,校核结构抗弯能力。

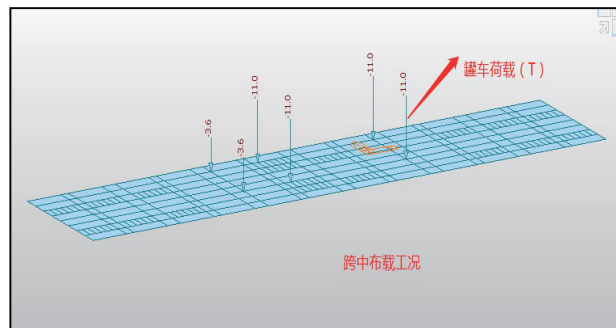


图2 跨中布载工况示意图

工况二:12m<sup>3</sup>罐车位于一侧支点附近,横向偏心设置同上,对抗剪承载能力进行校核。

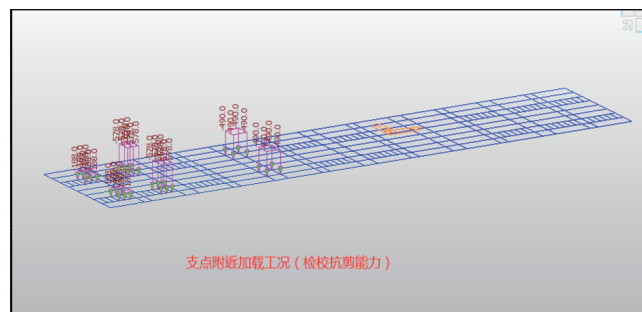


图3 支点附近布载工况示意图

工况三：采用移动荷载、车道加载的方式，根据结构受力包络图，验算承载能力。

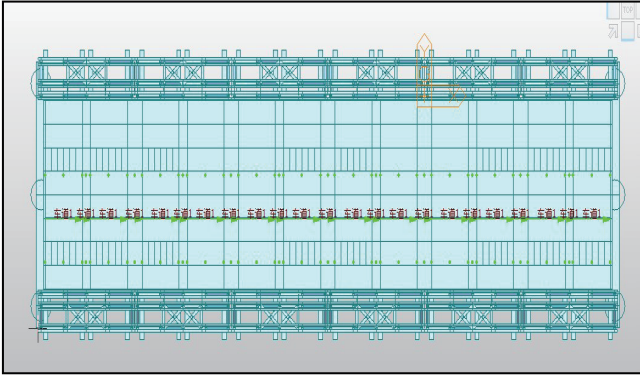


图4 车道加载示意图

4. 结构检算结果

(1) 工况一 贝雷应力及变形计算结果（抗弯控制）

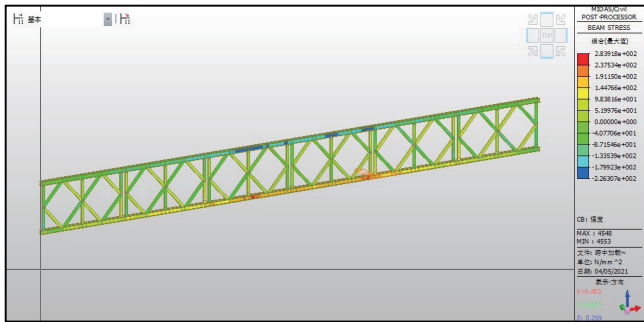


图5 工况一计算结果（应力）

贝雷梁最大组合应力283.9MPa，位于跨中下弦杆，满足要求。

贝雷弹性变形4.05mm，非弹性变形按《装配式公路钢桥多用途使用手册》取 $f' = 1.717n^2/8 = 7.73\text{mm}$ ，合计 $f = 11.78\text{mm} < L/400 = 45\text{mm}$ ，满足要求。

(2) 工况二 贝雷应力及变形计算结果（抗剪控制）

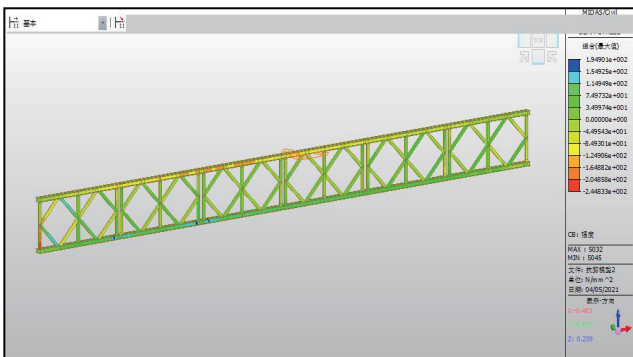


图6 工况二计算结果（应力）

贝雷梁最大组合应力245MPa $< [\sigma] = 305\text{MPa}$ ，位于支点端腹杆，满足要求。

变形：此工况贝雷变形不做控制。

(3) 工况三 贝雷应力及变形计算结果（移动荷载影响线加载）

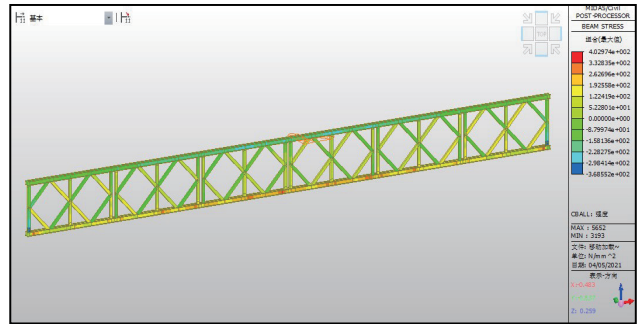


图7 工况三计算结果（应力）

根据组合应力最大、最小包络图显示，贝雷梁最大组合应力-403MPa，位于支点端腹杆处，该节点杆件构造必须加强，可在段腹杆外侧增设2C10槽钢作为附加杆件增设后端腹杆组合应力下降至222MPa $< [\sigma] = 305\text{MPa}$ ，其余正常段落杆件最大组合应力151MPa，应力水平均小于 $[\sigma] = 305\text{MPa}$ ，满足要求。

工况三在结构支点处端腹杆进行构造加强后，总体及局部强度满足要求。

(4) 双拼I45型钢盖梁。各工况下，型钢盖梁应力分布及变形结果如下（单位MPa，mm）

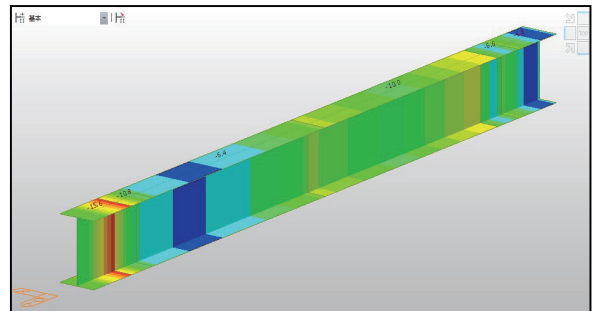


图8 双拼I45型钢盖梁计算结果

结果显示，盖梁弯拉应力最大值 $\sigma = 15.6\text{MPa} < [\sigma] = 215\text{MPa}$ ，满足要求。

(5) 钢管桩承载能力（按最不利-信江河钢管桩桩端进入持力层深度最大深度12米计算）

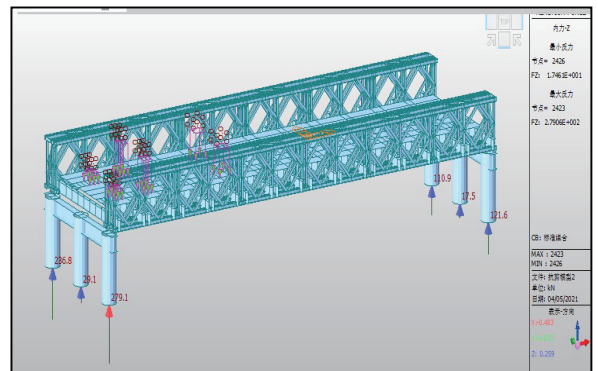


图9 钢管桩轴力计算结果

最不利工况下加载跨模型单根钢管桩最大设计轴力279.1kN，相邻空载跨栈桥自重对应的钢管桩轴力95kN，两者合计后单根钢管桩设计轴力为375kN，按400kN控制计算。

参照附近路基地质纵断面图：

据《建筑桩基技术规范》，钢管桩经验参数法计算公式：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = U \sum q_{sik} l_i + \lambda_p q_{pk} A_p$$

$$U \sum q_{sik} l_i = 1.979m \times (20kPa \times 10m + 45kPa \times 2m) = 573kN$$

$$\lambda_p q_{pk} A_p = 0.8 \times 2000kPa \times 0.312m = 373kN$$

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = 573kN + 373kN = 946kN$$

$$Ra = Q_{uk} / K$$

K-安全系数（取2）

$$Ra = Q_{uk} / K = 946 / 2 = 473kN > 400kN$$

钢管桩最少计算入土深度12米，考虑冲刷影响，实际施工按照13m控制；施工现场以贯入度控制，以入土深度校核。

### 5. 钢栈桥阻水分析

#### (1) 施工期阻水

根据计算，桥址处信江河道现状断面小于规划断面，在河道设计水位6.92m、设计流量84m<sup>3</sup>/s时，现状断面平均流速0.46m/s、规划断面平均流速0.35m/s。若按照补偿断面进行断面补偿，河道过水断面由181.5m<sup>2</sup>增加至243.0m<sup>2</sup>，增加过水面积61.5m<sup>2</sup>。

在低水位、大流量的河道设计工况下，经断面补偿，河道过水面积增加61.5m<sup>2</sup>，桥墩阻水比为2.47%，河道实际过水面积大于现状断面，断面平均流速0.35m/s。

#### (2) 结论

经计算，信江栈桥最大阻水比为3.7%（见表1），相对较小，与《江西省河道管理范围内建设项目防洪影响评价技术规定（试行）》中“跨越其他河道的桥梁，阻水比宜控制在6%以内，一般不应大于7%”的规定相比，信江栈桥阻水比小于7%，能够满足规定的要求。

表1 栈桥桥墩阻水统计表

工况	堤防设计水位		河道设计水位	
水位 (m)	7.57		6.92	
流量 (m <sup>3</sup> /s)	84		84	
断面	现状断面	补偿断面	现状断面	补偿断面
自然状态下过水面积 (m <sup>2</sup> )	215.08	263.51	181.5	243.0
阻断断面 (m <sup>2</sup> )	7.96	9.20	4.1	6
阻断率 (%)	3.7	3.49	2.27	2.47

### 6. 检算结论

通过对各控制工况下的结构建模检算，该钢栈桥在建工作条件下的总体与局部强度刚度、变形能力均满

足相关规范要求，结构设置安全可行。

## 三、钢栈桥施工

### (一) 施工流程

钢栈桥的主要流程：钢管桩定位→振动下沉钢管桩→安装钢管桩横梁及平联→安装纵向贝雷梁→安装横向分配梁→安装纵向分配梁→桥面板铺设→防护设施安装。

### (二) 钢管桩施工

钢管桩沉桩设备采用DZ60型振动锤。施工5#、4#钢管桩吊车均在陆地上施工，待其对应桥面系施工完成后，沉桩设置在第4跨桥面采用钓鱼法，依次向前施工3#、2#、1#钢管桩。考虑到吊装能力及安全等因素，吊装18m跨组合贝雷片时，可考虑在跨中位置打设辅助桩及安装辅助盖梁，提高施工期间单跨孔的承载能力。

### (三) 钢管平联施工

每排钢管桩下沉到位后，进行桩之间的平联施工，增加桩基础稳定性。平联安装前根据构件尺寸准确计算后加工，根据设计放样出定位点，严格控制焊缝的质量。对节点位置应加强质量过程验收，确保主要承重杆件及应力集中部位质量可控。

### (四) 上部结构及桥面系施工

贝雷片在地面拼装后整体吊装，安放后的贝雷梁采取必要的临时固定措施，工字钢在与贝雷梁搭接接触部分采用U型卡双螺母连接，增加其局部强度。

贝雷梁拼装完毕，其上铺设I40a工字钢横向分配梁。然后在I40a工字钢上铺设I14工字钢纵向分配梁，I14工字钢纵梁与I40a工字钢横梁搭接部分要双面满焊。桥面花纹钢板点焊在纵向分配梁I14工字钢上。

## 结语

本栈桥已应用于工程实际中，取得了预期的工程目标。结合钢栈桥的结构设计和现场施工，得到了以下结论：

(1) 根据贝雷梁受力结构特性，使用时对局部应力集中部位进行加强以提高整体刚度，如：在支点处附近的竖杆进行增加杆件加强措施，并确保支撑节点与贝雷主节点对应；加强横向分配梁与贝雷梁的固结措施、防止横梁变形造成各主梁间的受力分配不均匀；同时加强桥面板与横梁的固结措施等。

(2) 平联施工质量决定结构整体稳定性，平联结构设置在至通航水位线以上以减少汛期阻水。

(3) 兼具排涝、泄洪等功能航道上设计钢栈桥，需对栈桥基础进行阻水分析，以确保河道泄洪断面满足要求。

## 参考文献

- [1] 周水兴，何兆益，邹毅松等. 路桥计算手册[M]，人民交通出版社。
- [2] JTG D60-2015，公路桥梁设计通用规范[S]。
- [3] 张迪，于西尧，跨海临江钢栈桥上部结构受力分析[J]，天津建设科技，2022.06(32)。