

# 薄覆盖层地区钢栈桥格构柱基础适应性分析研究

文 / 范席瑞 中铁十一局集团第二工程有限公司

**摘要:** 格构柱结构通过增加桩间刚性连接, 能够提高桥梁基础在不良地质条件下的适应性, 可有效解决桥梁结构在薄覆盖层地区的稳定性不足问题。本文基于我国华中某地区的钢栈桥工程, 通过对比分析格构柱钢栈桥数值计算和实际监测数据, 对薄覆盖层、高水位、强水流环境下的桥梁稳定性动力学验证评价, 研究表明: 格构柱管桩基础钢栈桥在薄覆盖层、高水位、强水流环境条件下具有较高的适应性, 能够满足桥梁稳定性、安全性等多方面的要求; 格构柱基础能够提供足够刚度, 是的钢栈桥在施工过程中变形始终处于允许内; 本文所用设计方法安全有效, 数值计算结果可以有效包络实测应力和位移。

**关键词:** 薄覆盖层; 钢栈桥; 基础设计; 原位监测

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.050

## 引言

在薄覆盖层地区, 跨河桥梁传统单桩基础常因水流冲击和地下水变化影响而难以保持整体结构稳定<sup>[1]</sup>。相比于传统单桩结构, 格构柱结构则可通过增加桩间刚性连接, 提升桥梁基础在不良地质条件下的适应性。

当前, 众多学者已经针对特殊地质条件下的桥梁设计进行了大量研究。沈月烽等<sup>[2]</sup>针对桥梁软基问题, 分析了现有处理技术的局限性及不足, 提出了针对软基问题的工程设计与施工方案优化的策略, 探讨了地下注浆、生物材料等新型技术和材料在软基处理中的应用; 徐坚<sup>[3]</sup>依据根基原理的多支点端承桩基础设计, 采用挤扩支盘桩技术, 通过充分利用挤扩土的压硬特征, 构建了高效的多支点端承桩基础系统, 提高了桥梁在岩溶地区的稳定性和可靠性; 尽管当前已经针对特殊地质条件下的桥梁稳定性进行了大量研究, 但是对于薄覆盖层、高水位、强水流环境下的桥梁稳定性还缺乏足够的研究。

本文基于我国华中某地的钢栈桥工程实例, 通过实测数据对格构管桩基础钢栈桥在薄覆盖层、高水位、强水流环境下的桥梁稳定性和适应性进行分析, 验证当前格构管桩基础设计的合理性。本研究可为类似工程项目提供参考与建议。

## 一、项目概况

### (一) 项目基本情况

项目桥梁区域处的赣江河道宽度约为650m, 常水位水深约8m, 覆盖层最薄处约为0.5m。项目主桥跨越赣江河道, 桥长约1028m, 桥跨结构为预制T梁+连续钢构+预支T梁组合, 为便于主桥施工, 江面设置临时施工钢栈桥。临时施工钢栈桥全长约542m, 其中东岸约168m, 西岸约374m, 中间预留80m通航通道, 钢栈桥面宽8m。受防洪防汛规定水位影响, 钢栈桥距河床面高度为17.75m。

### (二) 水文地质条件

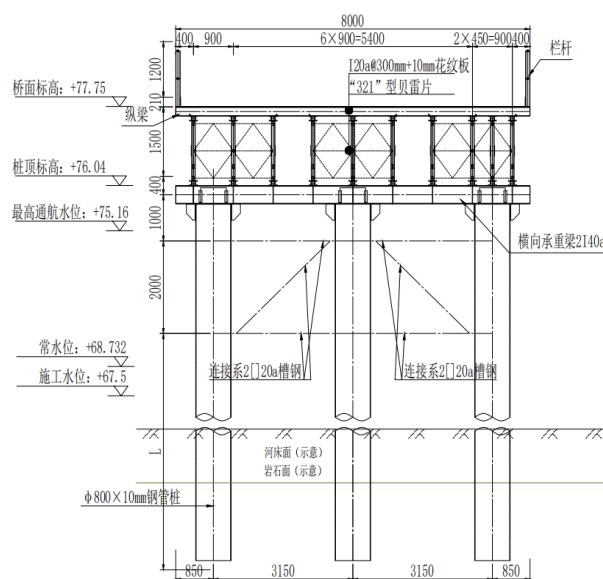
赣江区域水文条件复杂, 水位季节性波动显著, 常水位平均为68.7m, 丰水期和枯水期水位变化幅度达8.06m。此外大桥距离上游电站约6km, 属于消能区, 水流湍急, 年均水流速为1.2m/s, 丰水期流速可增至2.3m/s。

项目区域河床覆盖层厚度约为0.5~3.5m, 其中大部分为砂砾石, 其余为砾砂及泥质。勘察揭露的地层从上至下依次为人工填土、第四系全新统冲洪积层(Q4al+p1)、第四系中更新统残坡积层(Q2eL+d1)、白垩系上统南雄组(K2n)。

## 二、格构柱管桩基础钢栈桥设计

### (一) 钢栈桥结构设计

本项目钢栈桥基础采用 $\phi 800 \times 10 \text{mm}$ 钢管桩, 纵向设置间距为3m的双排桩, 横断面设置3排桩, 间距3.15m; 相邻桩间采用2[20a型槽钢作为桩间连接系。桩顶采用双拼I40a工字钢作为承重梁, 制动墩纵向承重梁采用承重梁双拼I56a工字钢。上部架设“321型”贝雷梁作为主纵梁; 横向设置10片, 贝雷梁每排之间采用90#花架固定, 贝雷梁上铺设I20a工字钢, 间距30cm; 桥面板为10mm厚花纹钢板。



### (二) 钢栈桥材料与参数

钢栈桥横向支撑架、花纹钢板、横向和纵向分配梁均采用Q235B钢材, “321”贝雷梁的上下弦杆及腹杆均采用16锰钢, 本项目相关计算参数如表1所示。

表 1 材料参数表

项目	参数	
结构安全等级	二级	
结构重要性系数	1.0	
挠度限值	L/500	
Q235 钢材	拉应力容许值	215MPa
	压应力容许值	215MPa
	剪应力容许值	125MPa
16 锰钢	拉应力容许值	305MPa
	压应力容许值	305MPa
	剪应力容许值	175MPa

根据《装配式公路钢桥多用途使用手册》，贝雷梁弦杆有效断面系数 $R=0.809$ ，弦杆轴力设计值：

$$F_n = 0.809 \times 2548 \times 305 \div 1000 = 628\text{KN} \quad (1)$$

斜杆稳定系数 $\varphi = 0.66$ ，斜杆轴力设计值：

$$F_n = 0.66 \times 952 \times 305 \div 1000 = 191.6\text{KN} \quad (2)$$

竖杆稳定系数 $\varphi = 0.818$ ，竖杆轴力设计值：

$$F_n = 0.818 \times 952 \times 305 \div 1000 = 237.5\text{KN} \quad (3)$$

(三) 荷载及荷载组合

施工临时钢栈桥所受荷载包括：桥梁自重（恒载）、车辆荷载、风荷载以及水流冲击荷载。结构强度验算采用基本组合，变形验算及桩底反力验算采用标准组合，其中桥梁自重（恒载）通过计算软件自动添加并取自重系数1.02。

(1) 风荷载

项目工作状态允许风速为24.5m/s，风荷载强度：

$$W_k = \beta_z \mu_z \mu_s w_0 \quad (4)$$

其中基本风压：

$$W_0 = \frac{V^2}{1.6} = 375.16\text{Pa} \quad (5)$$

设计取值380Pa、风压高度变化系数 $\mu_z$ 取1.09（A类地区，5m高度）、体型系数 $\mu_s$ 钢管取值0.6、钢箱梁和型钢取值1.3。非高松结构可以不考虑风振系数 $\beta_z$ 。由于贝雷架为多榀桁架，其挡风系数：

$$\mu_{stw} = \phi \mu_{st} \times \frac{1-\eta^n}{1-\eta} = 1.21 \quad (6)$$

贝雷架设计风荷载为：

$$W_k = 1.09 \times 1.21 \times 380 \times 1.5 = 0.75\text{KN/m} \quad (7)$$

风荷载作用位置为贝雷片上下弦杆位置

(2) 水流冲击荷载

设计水位为75.16m，设计水流速度为2m/s， $\phi 800 \times 10\text{mm}$  钢管水流荷载值为：

$$F_w = C_w \frac{\rho V^2}{2} A = 0.73 \times \frac{1 \times 2^2}{2} \times 0.8 \times 15 = 17.52\text{KN} \quad (9)$$

$\phi 630 \times 10\text{mm}$  钢管水流荷载值为：

$$F_w = C_w \frac{\rho V^2}{2} A = 0.73 \times \frac{1 \times 2^2}{2} \times 0.63 \times 15 = 13.79\text{KN} \quad (10)$$

钢管长度按照15m计算，水流力作用于距离水面以下1/3水深处。

(4) 荷载组合

荷载组合永久作用分项系数取值1.3，可变作用分项系数取值1.5，风荷载与水流力荷载组合系数均取值0.6。

三、设计计算分析

(一) 模型构建

本项目采用有限元软件MIDAS Civil软件进行建模计算，其中主体结构采用梁单元建模，桥面结构、贝雷结构以及下部构建之间均采用弹性连接边界。综合考虑项目施工情况，设计履带吊2+20t吊重跨中正吊、履带吊2+20t吊重墩顶正吊、履带吊2+20t吊重制动墩墩顶正吊、履带吊1+20t吊重跨中正吊、履带吊1+20t吊重墩顶正吊、履带吊1+20t吊重制动墩墩顶正吊共6种工况。

(二) 计算结果分析

计算模型对各个工况下的贝雷梁杆件内力、桩间联系梁应力、钢管桩应力、钢栈桥整体变形、桩底反力进行计算，计算结果如下表。

表 2 模型计算结果

计算参数	计算工况	参数值	允许值
贝雷梁弦杆内力	工况 1	374.5 KN	628 KN
	工况 2	49.8 KN	
	工况 3	137 KN	
	工况 4	326.9 KN	
	工况 5	45.7 KN	
	工况 6	115.6 KN	
贝雷梁竖杆内力	工况 1	181.3 KN	237.5 KN
	工况 2	137.3 KN	
	工况 3	187.7 KN	
	工况 4	163.7 KN	
	工况 5	160.9 KN	
	工况 6	157.9 KN	
贝雷梁斜杆内力	工况 1	157.4 KN	191.6 KN
	工况 2	56.1 KN	
	工况 3	116 KN	
	工况 4	133.8 KN	
	工况 5	44.9 KN	
	工况 6	93 KN	
桩间连系梁组合应力	工况 1	44.6MPa	215MPa
	工况 2	24.6MPa	
	工况 3	34.1MPa	
	工况 4	42.3MPa	
	工况 5	21MPa	
	工况 6	42.2MPa	
钢管桩组合应力	工况 1	52.9MPa	215MPa
	工况 2	52.3MPa	
	工况 3	75.9MPa	
	工况 4	55.1MPa	
	工况 5	54.1MPa	
	工况 6	92.3MPa	
钢管桩桩底反力	工况 1	435.4 KN	\
	工况 2	428.7 KN	
	工况 3	513.7 KN	
	工况 4	507.7 KN	
	工况 5	489.2 KN	
	工况 6	426.5 KN	

钢栈桥整体变形	工况 1	12.1mm	24mm
	工况 2	2.4mm	
	工况 3	5.6mm	
	工况 4	11.3mm	
	工况 5	24mm	
	工况 6	5.8mm	

通过对不同荷载组合下钢栈桥的计算结果分析可以发现，贝雷梁弦杆、竖杆和斜杆的内力分别在工况1、工况3、工况1达到最大值，且最大值远小于设计允许值，这表明弦杆在不同工况下仍能保持稳定，并具有较高的安全裕度；桩间连系梁最大组合应力在工况1情况下达到最大值，但仍处于允许值范围内；钢桩组合应力和桩底反力在工况6、工况3情况下达到最大值并处于安全范围内；钢栈桥的整体变形在不同工况下的最大值为12.1mm，只有变形允许值的50%左右，这表明结构稳定性较好。上述计算结果表明钢栈桥在不同荷载组合下表现出优异的结构稳定性和安全性，各部件的应力和变形均在设计的容许范围内。

#### 四、监测值与设计值对比

##### (一) 监测方案

为验证格构柱管桩基础的实际性能与设计预期的符合性，本研究对钢栈桥使用阶段的贝雷梁弦杆内力、桩间连系梁的应力、钢栈桥的变形位移进行监测，其中内力监测点分布于贝雷梁弦杆、桩间连系梁，位移监测点分布于贝雷梁下杆，数据采集设备选用高精度应变片和位移传感器。

##### (二) 监测结果分析

贝雷梁弦杆轴力变化如图1所示，贝雷梁弦杆内力在施工期间出现三次较为显著的峰值，分别在第10天、第40天和第70天左右。这些峰值的最大值未超过设计限值，这表明弦杆在整个施工周期内的内力始终处于安全范围内。这表明贝雷梁弦杆结构具有较好的承载力，能适应不同的荷载变化。

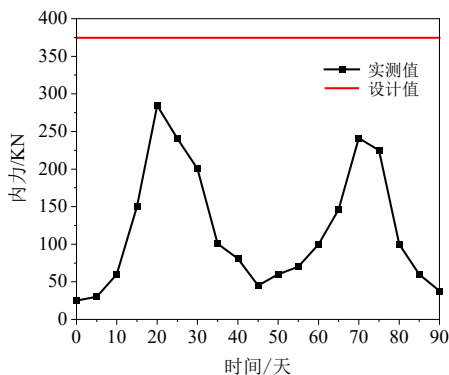


图1 贝雷梁弦杆轴力变化

桩间连系梁应力如图2所示，实测应力值在监测初期快速上升，约在第20天达到峰值，接近40MPa，随后逐渐下降并保持在20MPa至30MPa之间的波动，远小于设计限值为50MPa。监测数据表明桩间连系梁的应力始终低于设计限值，表明在使用过程中未出现应力超标的情况，整体应力波动符合设计预期，显示出结构的稳定性。

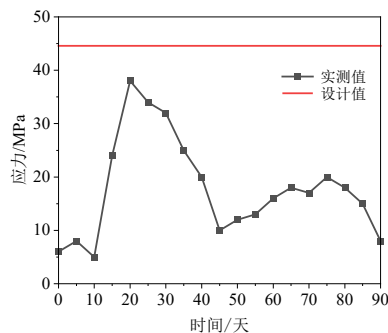


图2 桩间连系梁轴向应力变化

钢栈桥沉降位移如图3所示，监测数据显示钢栈桥变形位移在监测初期快速增加，约在第30d趋于稳定，最终位移接近22mm，低于设计限值24mm。实测位移逐渐达到稳定状态并保持在设计值以下，表明钢栈桥在加载后的位移逐渐稳定，结构未出现明显的变形或位移超标现象。这显示钢栈桥的整体刚度足够，能够有效抵抗外界荷载引起的变形。

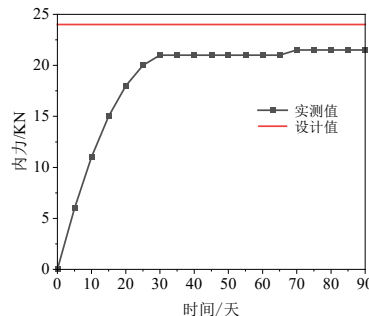


图3 钢栈桥沉降位移

#### 结论

本研究通过数值计算分析和现场实测研究对格构柱管桩基础钢栈桥在薄覆盖层、高水位、强水流环境下的稳定性和适应性进行了研究，主要结论如下：

(1) 格构柱管桩基础钢栈桥在薄覆盖层、高水位、强水流环境条件下具有较高的适应性，能够满足桥梁稳定性、安全性等多方面的要求。

(2) 施工过程中，钢栈桥的整体变形位移始终低于设计限值，这表明格构柱管桩基础不单能够保障桥梁的结构强度，还能提供足够的刚度，保证桥梁的沉降始终处于安全范围内。

(3) 本文所用设计方法安全有效、数值计算结果可以有效包络实测应力值和位移值，能够有效保障钢栈桥在使用过程中的稳定性。

#### 参考文献

[1] 穆清君, 李贤仰, 杨武, 等. 深水薄覆盖层区大型双壁钢围堰施工技术[J]. 中国港湾建设, 2024, 44(06): 83-90.  
 [2] 沈月烽, 范晓杰. 针对软基问题的大型桥梁工程处理技术研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (23): 157-159.  
 [3] 徐坚. 挤扩支盘桩在岩溶区桥梁中的应用及推广[J]. 黑龙江交通科技, 2024, 47(07): 97-101.