

五、工况分析

考虑以下3种工况：

(1) 中国城市桥梁荷载C-AL荷载（载重70t），车轮间距1.8m。

(2) SR360II旋挖钻机过桥，其他设备不上桥。

(3) 提升21m钢栈桥，保证通航需要。

六、主要设计参数

(一) 恒载（自重）

本设计采用 Midas Civil 建模分析，自重恒载由程序根据有限元模型设定的截面和尺寸自行计算施加，其中分项系数取1.2。加载时荷载取1.2×自重。

(二) 活载（汽车荷载效应）

根据《公路桥涵设计通用规范》，汽车荷载中国城市桥梁荷载C-AL荷载（载重70t）计算，车轮间距1.8m。

(三) SR360II旋挖钻机总机重量120t，单侧履带长5.48m，宽度0.8m，单侧履带底部线性均布荷载 $q=120 \times 10 / (2 \times 5.48) = 110 \text{ kN/m}$ ，考虑荷载分项系数1.2，荷载分别作用于12m、15m跨度贝雷梁跨中位置为最不利状态。

(四) 荷载组合

验算构件强度：1.2倍恒载+1.4倍活载

验算构件刚度：1.0倍恒载+1.0倍活载

(五) 主要构件设计参数

详见表1。

表1 主要构件设计参数表

序号	材料名称	规格	材质	容重 (kN/m³)	施工部位	备注
1	钢管桩	Φ630*9	Q235	78.5	钢管桩	
2	工字钢	2I40a	Q235	78.5	钢管顶部横梁	
3	贝雷片	300cm*150cm	16Mn		贝雷梁	
4	贝雷片	300cm*170cm	16Mn		贝雷梁	加强型
5	工字钢	I10	Q235	78.5	纵向分配梁	间距30cm
6	工字钢	I20a	Q235	78.5	横向分配梁	
7	花纹钢板	δ 8mm	Q235	78.5	面板	
8	槽钢	[20a	Q235	78.5	钢管横向连接	
9	槽钢	[10	Q235	78.5	挡块	每处120cm
10	角钢	∠63×4	Q235	78.5	支撑架	
11	钢管	Φ48*3	Q235	78.5	栏杆	1.2m高
12	钢板	δ 8	Q235	78.5	加强板	
13	钢管桩	Φ530*9	Q235	78.5	门架立柱	
14	工字钢	I28a	Q235	78.5	门架顶部横梁	

注：单片贝雷梁顶部横向分配梁I20a工字钢间距(79.5+70.5+70.5+79.5) cm。

七、栈桥检算

(一) 建模

采用Midas/civil分别建立21m单跨和三跨12m连续梁整体计模型，对栈桥结构受力情况进行分析。在此处只对21m栈桥整体计算进行介绍，模型见图4。

边界条件设置：桥面板和纵向分配梁、纵向分配梁

和横向分配梁均采用共节点连接，横向分配梁与贝雷梁采用弹性连接，SDx取值100kN/mm，其他方向考虑一定摩擦阻力取值10kN/mm；双拼工字钢横梁通过修改截面刚度系数×2实现，与贝雷梁共节点；钢管底部按照锚固模拟，各向约束均开启；梁跨贝雷梁端头连接处考虑为销接，采用释放梁段约束设置。

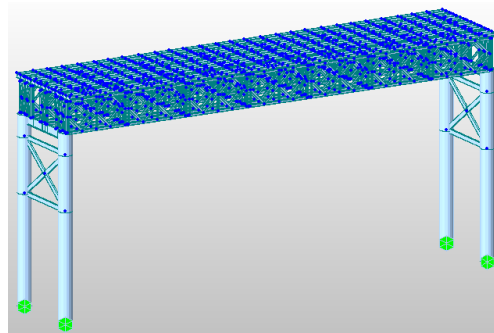


图4 栈桥整体检算模型（21m）

(二) 移动荷载加载

程序分析时，汽车活载作为移动荷载分析，采用车道面加载。考虑到实际情况，桥面两侧预留50cm为避让行人宽度，车道面宽度取4m，车轮间距1.8m。汽车限速5km/h通过，通行的冲击系数由程序根据设定参数自动计算考虑，在“移动荷载分析控制”中，结构基频取值1.3Hz，根据《公路桥涵设计通用规范》规定，冲击系数 $u=0.04$ 。

(三) 旋挖钻机过桥荷载加载

通过整体模型在钢管桥桥面加载120t旋挖钻机履带均布荷载。

(四) 受力分析

经软件运行分析得出，面板、分配梁、横梁、贝雷梁、钢管桩受力均满足要求。借助软件验算较为简便，在此不赘述，下面主要对钢管桩的稳定性进行分析：

(1) 钢管桩支反力：21m主跨主墩最大支反力443kN。

(2) 钢管桩稳定性验算：钢管桩外露高度取15m，横向采用[20槽钢连接，纵向未连接，自由高度取15m，计算时钢管桩按一端自由，一端固定考虑。

最大钢管桩反力为： $F_{中}=443 \text{ kN}$

计算长度： $l=2h=2 \times 15=30 \text{ (m)}$

截面面积： $A=175.584 \text{ cm}^2$

回转半径： $i=21.9 \text{ cm}$

长细比： $\lambda=l/i=30/0.219=137 < [\lambda]=150$

稳定系数 $\phi=0.397$

$N/(\phi A)=443/(0.397 \times 175.584 \times 10^{-4})=63.6 \text{ MPa} < 215 \text{ MPa}$ 。满足要求。

(3) 钢管桩入土深度检算

根据钢管支墩支反力计算可知：21m主跨主墩最大支反力443kN，12m跨中墩最大支反力433kN，边墩最大支反力295kN。

根据《公路桥涵地基与基础设计规范》可知：摩擦桩单桩轴向受压承载力设计值：

$[P]=0.5 (u \sum a_i f_{li} + \lambda A R_a)$ ；

式中： $[P]$ —桩的容许承载力 (kN)；

U —桩身截面周长 (m)，取值为1.979m；

l_i —各土层厚度 (m)，见上表；

A—桩底支撑面积 (m^2)，取值为 $A=175.584cm^2$ 。

α_i ， α —震动沉桩对各土层桩周的摩阻力和桩底承压力的影响系数，对于打入桩其值取1；

λ —桩系数，打入桩取1；

f, R—分别为桩周土的极限摩阻力 (kPa) 和桩底的极限承载力 (kPa)

21m主跨主墩打入深度11.4m，详见表2。

表2 打入深度计算表

序号	土层	厚度 (m)	极限侧摩阻力 (kpa)	桩底支撑面积 (m^2)	周长	桩尖土承载力 (kpa)	1/2桩尖土承载力 (kN)	1/2摩阻力 (kN)
1	淤泥质粉质黏土	5	20	0.0175	1.979	80	-	98.95
2	粉质黏土	3.5	50	0.0175	1.979	200	-	173.16
3	细砂	2.1	60	0.0175	1.979	150	1.31	124.68
4	砂砾岩	0	100	0.0175	1.979	350	3.06	0.00
合计		10.6						398.10

按照同样的方法，计算得出，12m跨中墩打入深度11.2m，12m跨边墩打入深度8.9m。

八、提升门架检算

(一) 建模

门架立柱采用530*9钢管桩、高度取22m，立柱顺桥向间距取1.8m、横桥向间距取7m，顶部横梁采用I28a，连系梁采用[20]。21m跨栈桥结构重量38.5t，取40t进行验算，分项系数取1.2，单侧门洞架承受结构重 $0.25 \times 1.2 \times 40 \times 10 = 120kN$ 。建模见图5。

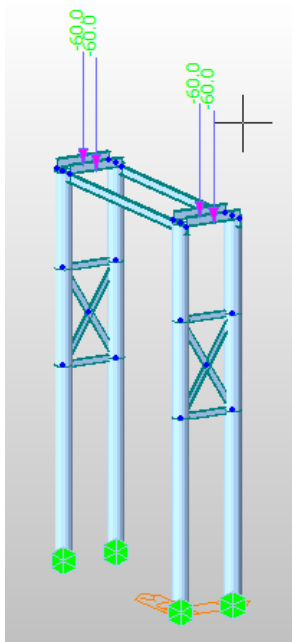


图5 单端提升门架检算模型

(二) 受力分析

(1) 横梁最大应力为 $75.3MPa < 215MPa$ ，最大变形 $0.4mm < 1800/400 = 4.5mm$ ，满足要求。

(2) 立柱最大应力 $8.9MPa < 215MPa$ ，满足要求；最大支反力 $105kN$ 。由于门架立柱受力远远小于钢管桩受力。

(3) 钢管桩稳定性验算

钢管桩外露高度取22m，考虑到在水面以上1m位置将门架钢管与栈桥钢管桩之间采用[20连接加强，计算时钢管桩自由长度取此位置至桩顶长度，取12m。

最大钢管桩反力为： $F=105kN$

计算长度： $l=2h = 2 \times 12 = 24 (m)$

截面面积： $A=147.309cm^2$

回转半径： $i=18.422cm$

长细比： $\lambda = l/i = 24/0.18422 = 131 < [\lambda] = 150$

稳定系数 $\phi = 0.429$

$N / (\phi A) = 105 / (0.429 \times 147.309 \times 10^{-4}) = 16.6MPa < 215MPa$

满足要求。

(4) 吊钩销钉检算

销钉直径 $d=25mm$ ，板厚 $b=30mm$ ，作用在销钉上的挤压力为 $F=90kN$ 。

销钉强度计算： $\sigma = F/bd = 120000 / (25 \times 30) = 160MPa \leq 215MPa$

销钉剪应力计算： $\sigma = 120000 / (2 \times 3.14 \times 15^2) = 84.9MPa \leq 125MPa$ ，满足要求。

(5) 钢丝绳检算

采用滑轮直径不小于165mm、滑轮数不小于5个、额定起重不小于10t的滑轮组能满足使用要求。选用 $6 \times 37+1$ 直径17.5mm钢丝绳， $\sigma = 1668MPa$ ， $K=8$ ，允许拉力为 $19.44kN$ 。

$5 \times 2 \times 19.44 = 194.4kN > 120kN$ ，满足要求。

九、结束语

方案经过专家论证，并按照规定完成报批程序，由现场项目部组织实施。从实施效果来看，该钢栈桥结构稳定，可提升跨钢栈桥通过配备同步提升设备，使用过程中安全稳定，既保证了施工便道的畅通，有保证了河道的正常通航，取得了较好成效。为该栈桥专门研发的提升钢栈桥限位装置以及栈桥贝雷梁与分配梁的专用连接件均已成功获得国家实用新型专利证书。

参考文献

[1] 中华人民共和国行业标准.《公路桥涵施工技术规范 (JTG/T 3650-2020)》.北京.2020

[2] 中华人民共和国行业标准.《公路桥涵设计通用规范 (JTGD60-2015)》.北京.2015

[3] 国家标准《钢结构设计标准》GB50017-2017正式发布[J].中国建筑金属结构, 2018 (2).

[4] 摘自中国建筑书店.建筑施工计算手册[J].岩土力学, 2013 (11): 3070-3070.

[5] 黄绍金, 刘陌生.《装配式公路钢桥多用途使用手册》.北京: 人民交通出版社.2001年6月

作者简介: 李铁栓 (1983-), 男, 高级工程师, 2006年毕业于中南大学土木工程专业, 本科; 2020年毕业于合肥工业大学工程硕士结构工程专业。