

超大直径桩基临时钢栈桥结构设计与施工关键技术研究

杜和军

安徽省公路工程建设监理有限责任公司

摘要：本文结合芜合高速公路芜湖至林头段改扩建工程牛屯河特大桥超大直径桩基及下部构造的实际施工需求，通过荷载工况分析验算，现场施工及检验，从而确保了钢栈桥及临时支撑钢管桩基础的强度、刚度及稳定性，为类似栈桥施工提供参考与借鉴。

关键词：钢栈桥；超大直径；荷载；工况；验算；施工

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.12.097

一、工程概况

本项目位于安徽省马鞍山市含山县与芜湖市鸠江区境内。地貌单元属沿江丘陵平原，微地貌单元可分为河漫滩、阶地、低丘，组成物质为第四系全新统冲积软土、粉质黏土、粉细砂及卵石土。

牛屯河特大桥改扩建采用右侧分离增建、旧桥拆除重建方案。左、右幅桥跨布置为：

10x30+(70+3x125+70)+14x30m，全长1242m。主桥采用(70+3x125+70)m变截面钢箱组合连续梁，引桥采用30m钢板组合连续梁，下部采用柱式墩、肋式台、桩基础。其中第11#~14#墩跨越河流，水中墩为12#、13#墩，桩基为直径3.8米的超大直径桩基，需搭设水中临时栈桥。

二、栈桥总体布置及标高设计

牛屯河特大桥栈桥净宽8m、标准跨12m，同时考虑汛期影响，牛屯河特大桥主河道位置设置(3+3×9+18×12+3+3+3×9+3)组合跨栈桥；上部构造从上到下依次是装配式桥面板、321型贝雷主梁（普通型）、2HN600桩顶横梁、Φ800×8mm钢管桩；栈桥每联之间预留0.1m伸缩缝，伸缩缝为0.4m宽钢板一端焊接一端自由。

装配式钢面板由钢面板、I14工字钢、I25工字钢组成，其中I14工字钢嵌入至I25工字钢中，采用焊接固定。面板由12mm钢面板（尺寸8m×3m）+间距30cm的I14工字钢+间距100cm的I25工字钢。

栏杆立柱采用I12.6工字钢，其在伸缩缝位置处纵向设置2cm的断缝。

牛屯河栈桥设计水位取7.780（1/10最高汛期标高），实测常水位为5.820m，实测河床底标高为3.200m。梁底标高控制为5.820m（常水位）+0.5m（预留高度）+4.015m（剪刀撑至贝雷架距离）=10.335m。

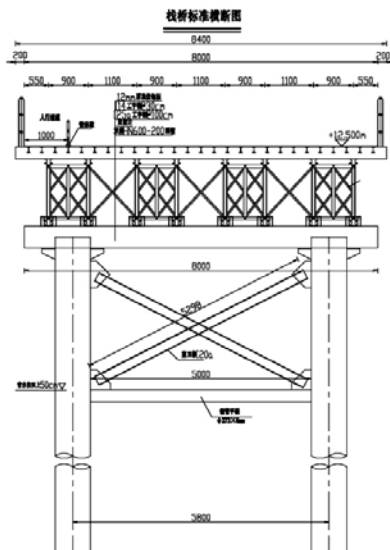
三、荷载需求工况

根据现场实际情况对栈桥各荷载需求进行工况分析，具体内容如下：

（一）12m³罐车

本工程计划使用2辆罐车（车及混凝土自重80t）同时在栈桥上双向行驶的工况，具体工况分析如下：

工况一：当2辆罐车同时在栈桥上双向行驶时，两



2-1主栈桥一般构造图

排后轮轮距中心正处于跨中。

工况二：当2辆罐车同时在栈桥上双向行驶时，两排后轮轮距中心正处于承重梁中心。

（二）150t履带吊

本工程栈桥及平台采用履带吊安装、拆除，正常使用阶段不考虑履带吊作业；具体工况分析如下：

工况一：履带吊站立于承重梁后端进行栈桥安装及拆除作业，考虑吊重20t（振动锤+钢管桩、装配式钢板等）；此工况下，栈桥同一跨内无其他车辆及机械荷载；

工况二：栈桥前一跨已搭设完成，履带吊空载行走至承重梁后端即可，最不利工况为：履带吊行走至跨中；此工况下，栈桥同一跨内无其他车辆及机械荷载。

（三）65t平板运输车

桥面板采用65t平板运输车运输（运输车与桥面板最大重量为60t），仅考虑单向行驶，且栈桥同一跨内无其他设备荷载；

工况一：运梁车两排后轮轮距中心正处于跨中。

工况二：运梁车两排后轮轮距中心正处于承重梁中心。

（四）运输材料所用挂车

施工过程中运输材料所用挂车存在双向行驶的工况（公路-I级汽车荷载：G=550KN），最不利工况与2辆罐车双向行驶一致，不再赘述。

四、荷载分析

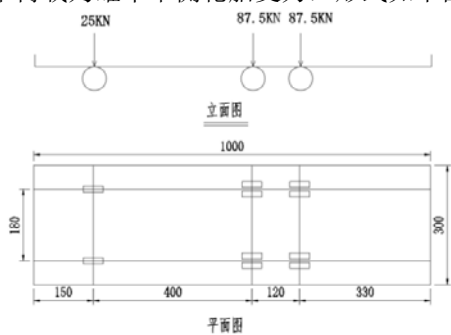
（一）结构自重

钢材容重78.5KN/m³。

（二）12m³混凝土罐车

参考相关混凝土运输车荷载参数，设计最大荷载为

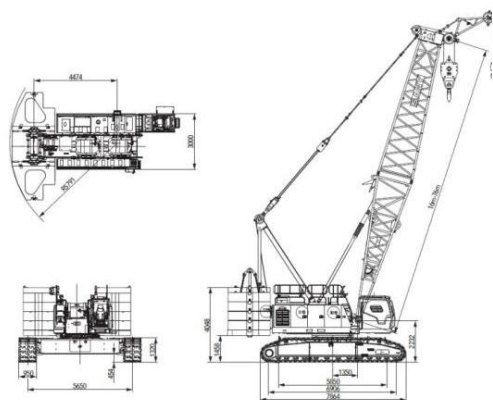
40t的砼罐车，考虑栈桥上2辆罐车同时行驶，其主要荷载（图中荷载为罐车单侧轮胎受力）形式如下图所示。



4-1 12m³混凝土罐车尺寸图 (mm)

(三) 150t履带吊

150t履带吊单条履带尺寸为6.906m×0.95m，两条履带中心间距5.650m，履带吊总重150t，则该履带下均布荷载集度 $q=1500 \div (6.906 \times 0.95 \times 2) = 114.4 \text{ kN/m}^2$ ，则该履带下荷载分布如下：



4-2 150t履带吊履带尺寸图 (mm)

(四) 65t平板运输车

65t平板运输车与桥面板最大重量为65t，荷载即为 $G=650 \text{ kN}$ 。考虑到平板车荷载相较于履带吊与砼车荷载较小，可以忽略。

(五) 风荷载

当钢平台在使用期出现8级风以上时应停止使用，因此钢平台正常工作期风速按 $V=20 \text{ m/s}$ (8级风) 取值。

单片贝雷片迎风面积： $A_{wk} = \phi A = 0.27 \times 1.5 \times 3.0 = 1.22 \text{ m}^2$

等效静阵风风速为： $U_g = G_v U_z$ (U_g ——等效静阵风风速 (m/s)； G_v ——等效静阵风系数，按《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01-2018)表5.2.1， $G_v = 1.33$ 。)

将数据代入公式，可得 $V_{g(20)} = 26.6 \text{ m/s}$

单片贝雷片的实面积比 $\phi = 0.27$ ，按《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01-2018)表4.3.4-1，风阻力系数值 $C_H = 1.7$ ，桁架遮挡系数 $\eta = 0.8$ ，作用在单片贝雷片上的横向静阵风荷载为： $F_g = \frac{1}{2} \rho U_g^2 \eta C_H \cdot \frac{\phi A}{1000}$

(式中： ρ 取为1.25。)

将数据代入式，得： $F_{H(20)} = \frac{1}{2} \times 1.25 \times 26.6^2 \times 0.8 \times 1.7 \times 1.22 / 1000 = 0.73 \text{ kN}$

(六) 水流荷载

设计水位：+5.82m，最深处水深约2.62m，流速1m/s。

根据《港口工程荷载规范》(JTS 144-1-2010)计算：

$$F_w = C_w \frac{\rho}{2} v^2 A$$

式中： F_w ——水流力标准值 (kN)；

C_w ——水流阻力系数取0.73；

ρ ——水密度 (t/m^3)，淡水取1.0，海水取1.025；

V ——水流设计流速 (m/s)；

A ——计算构件在与流向垂直平面上的投影面积 (m^2)。

得 $F_w = 0.73 \times 1 \div 2 \times 1^2 \times 0.8 \times 2.62 = 0.765 \text{ kN}$ ，作用位于水面下三分之一处。

(七) 车辆制动力

车辆制动力按车辆总重力的10%计算。制动力的着力点位于桥面以上1.2m处。纵横向折减系数参考JTG D60 2015通规4.3.1、4.3.5条。

(八) 计算荷载包括

恒载、履带吊自重、砼车荷载、平板车荷载、风荷载、水流荷载、车辆制动力。分析前四个工况结果，混凝土罐车偏载对本结构不起控制作用，故只对150t履带吊偏载作用进行验算。计算采用在桥面板上施加均布面力来模拟车轮荷载的竖向作用，加载位置及力的大小由上述加载原则并根据影响线加载在最不利荷载位置上，主要是跨中与端部。各工况具体情况列于下表：

4-1加载工况一览

工况	纵向作用位置	荷载组合
工况一	跨中位置	2辆40t罐车+结构自重
工况二	墩顶位置	2辆40t罐车+结构自重
工况三	跨中位置	150t履带吊+结构自重
工况四	墩顶位置	150t履带吊+结构自重
工况五	跨中位置右偏载作用	150t履带吊+结构自重
工况六	墩顶位置右偏载作用	150t履带吊+结构自重

注：本表未示重复荷载（风荷载、水流荷载、车辆制动力等）

五、荷载验算

(一) 桥面板验算

(1) 结构形式

栈桥桥面板分为12mm厚花纹A3钢板，A3钢板焊接在中心间距30cm的I14工字钢及间距100cm的I25工字钢上。

(2) 计算工况及荷载分析

序号	工况	荷载分析	是否为控制性工况
1	混凝土罐车	单轮最大荷载为175kN/4=43.75kN	是
2	履带吊	履带吊履带宽度及线荷载的作用范围均大于工字钢纵梁间距，故其荷载均直接作用在工字钢纵梁上	否
3	65t平板运输车	单轮最大荷载为160kN/4=40kN	否

混凝土罐车车单轮着地面积按 $0.3\text{m} \times 0.2\text{m}$ 计(其中轮胎宽度方向 0.2m)，则单轮下面荷载

$$q = \frac{43.75}{0.3 \times 0.2} = 729.2\text{kN/m}^2。$$

(二) 贝雷梁验算

下表，给出了贝雷架各工况下应力结果，表中应力单位为MPa。

5-2贝雷架各工况下应力结果一览表

工况	组合应力	剪应力	组合应力容许值	剪应力容许值	是否满足要求
工况一	139.21	31.59	273	208	是
工况二	127.68	95.12	273	208	是
工况三	165.53	73.32	273	208	是
工况四	155.92	84.39	273	208	是
工况五	183.74	82.57	273	208	是
工况六	214.26	89.02	273	208	是

从计算结果来看，贝雷架应力集中明显，最大应力出现在贝雷架端部竖杆处，贝雷架应力满足规范要求，结构安全。在验算过程中发现，贝雷架端部竖杆应力容易出现应力集中，用普通的I8工字钢出现超过容许应力值，故对贝雷架端部竖杆工字钢腹板进行加厚处理，腹杆厚度由 6.5mm 加厚至 10mm 。

(三) 结构变形计算结果

5-3承重梁各工况下变形结果一览表

工况	整体变形	承重梁变形	整体变形应力容许值	承重梁变形容许值	是否满足要求
工况一	6.49	2.48	37.5	14	是
工况二	4.46	3.88	37.5	14	是
工况三	12.25	3.4	37.5	14	是
工况四	10.74	3.95	37.5	14	是
工况五	13.27	2.32	37.5	14	是
工况六	11.63	2.77	37.5	14	是

从计算结果来看，变形满足规范要求，结构安全。

(四) 钢管桩计算

根据《港口工程桩基规范》(JTS 167-4-2012)公式4.2.4-2，钢管桩轴向抗压承载力设计值可按下式计算：

$$Q_d = \frac{1}{\gamma_R} (U \sum q_{fi} l_i + \eta q_{RA})$$

式中 Q_d —单桩轴向承载力设计值 (kN)；

γ_R —单桩轴向承载力分项系数，取1.55；

U —桩身截面外周长 (m)；

q_{fi} —单桩第 i 层土的极限侧摩阻力标准值 (kPa)；

l_i —桩身穿过第 i 层土的长度 (m)；

η —承载力折减系数，取0.8；

q_{RA} —单桩极限端阻力标准值 (kPa)；

A —桩端外周面积 (m^2)。

根据上述计算，荷载加载时，最大模型支反力为 $N=853.4\text{kN}$ 。

六、施工关键注意事项

(一) 钢管桩焊接

(1) 钢管桩焊接前，应将焊缝上下 30mm 范围内的

铁锈、油污、水汽和杂物清除干净。

(2) 钢管桩对口拼装时，相邻管节的焊缝必须错开 $D/8$ 以上 (D 为桩径)，对接焊缝宜采用埋弧焊进行，对接管端环缝应对称施焊，防止焊接变形，减少次应力。

(3) 钢管桩对口拼装时，相邻管节的管径偏差不大于 2mm ，对口板边高差不大于 1mm 。

(4) 钢管桩对接焊缝允许偏差

咬边：深度不超过 0.5mm ，累计总长度不超过焊缝长度的 10% ；

超高：不大于 3mm 。

(5) 焊接的长度和焊缝饱满度必须满足要求，对于立焊等焊接难度较大的部分，可采取加大焊接面的方式。

(二) 沉桩施工

(1) 振桩开始时，可吊装振桩锤和夹具与桩顶连接牢固，先利用桩的自重下沉，然后，开动振动锤使桩下沉。以控制桩尖设计标高为主，同时结合贯入度法进行双控。当桩尖已达设计标高，而贯入度较大时，应继续锤击，使接近控制值。当最后下沉速度与计算值相距不多，且振幅符合规定时，即认为合格。

(2) 每根桩的下沉连成一气，不可半途间歇时间过长，以免桩周的土恢复，继续下沉困难。每次振动持续时间过短，则土的结构没被破坏，过长则振动锤部件易遭破坏。振动的持续时间长短应根据不同机械和不同土质通过试验决定，一般不宜超过 $10\text{min} \sim 15\text{min}$ 。

(3) 振动锤与桩头法兰盘连接螺栓必须拧紧，无间歇或松动，否则振动力不能充分向下传递，影响钢管桩的下沉，接着也易振坏，在振动锤振动过程中，如发现桩顶有局部变形或损坏要及时恢复。

(4) 测量人员现场指挥精确定位，在钢管桩打设过程中要不断检测桩位和桩的垂直度，并控制好桩顶标高。下沉时如钢管桩倾斜，及时牵引校正，每振动 $1 \sim 2\text{min}$ 要暂停一下，并校正钢管桩一次。

七、结论

通过对牛屯河特大桥超大直径桩基施工水中钢栈桥及临时支撑钢管桩基础工程的施工，可以得出以下结论：

(1) 钢栈桥是水中桥梁施工重要的临时结构，需综合考虑工程地质、水文情况、场地条件、施工工期、工程造价等方面的因素确定其结构形式、跨度、净空、建筑高度等参数，确保其承载能力、刚度、稳定性符合要求。施工时要严格按设计要求进行。

(2) 经过对钢栈桥的桥面板、贝雷梁、桩顶承重梁、结构变形、钢管桩进行设计验算及施工控制，在保证各构件连接完好的前提下，钢栈桥各主要受力构件强度、刚度、稳定性均满足要求。

参考文献

[1] 任加亮. 钢栈桥在深水施工中的设计与应用[J]. 城市道桥与防洪, 2014 (09): 195-199+23.

[2] 史双涛, 上官长城. 临时钢栈桥在车辆荷载作用下的动力响应[J]. 公路交通科技 (应用技术版), 2019, 15 (05): 221-224.