

手算与有限元分析结合在钢便桥验算中的运用

蓝伟锋

(中铁港航东南海洋工程有限公司, 福建 福州 350026)

摘 要: 某高桩码头工程施工临时通行需要, 拟在海上架设一座钢便桥。为提升验算效率及可靠性, 钢便桥的上部结构采用 Midas Civil 软件进行分析, 桩基则利用软件分析所得数据进行手算。常规手算与具备更大自由度和强大的分析能力的 Midas Civil 有限元数值分析软件结合, 可提升施工企业生产效率、经济效益和竞争力。文章可为类似临时结构验算提供借鉴。

关键词: Midas Civil; 有限元分析; 钢便桥; 桩基手算

中图分类号: U446 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 08—0052—04

1 工程概况

1.1 平面布置

钢便桥长 252m、宽 6m。

1.2 结构形式

钢便桥跨径 12m, 每排设 2 根 $\phi 630 \times 10\text{mm}$ 钢管桩作基础, 间距 4.4m; 桩顶开槽, 安装双拼 I40b 工字

钢横梁, 横梁上设 3 组双排单层 321 型贝雷片纵梁, 贝雷片间距 0.9m, 组距 1.35m。纵梁上设 I25b 工字钢横向分配梁, 间距 0.795m、0.705m。横向分配梁上设 I12.6 工字钢纵向分配梁, 间距 0.3m。I12.6 纵向分配梁上设 $\delta 10\text{mm}$ 防滑钢板做为桥面板。钢管桩横向支撑采用 [25 槽钢。如图 1、图 2 所示。

了约 16m、21m 和 26m。

(2) 码头设计低水位考虑梨园电站 15 年泥沙淤积水平, 计算三个时段坝前最低运行水位 + 龙盘水库投入后梨园水电站各时段最小入库流量的水面线, 取其下包络线为沿程各码头的设计低水位。考虑梨园库区码头建设是否提供夜间通航两种不同工况, 两种工况下, 梨园上游翻坝码头的设计低水位均为 1605m; 考虑夜间通航时, 大具码头的设计低水位为 1605.89m, 考虑夜间不通航时, 大具码头的设计低水位为 1606.52m。

(3) 码头设计高水位的确定, 考虑泥沙 20 年、30 年两种淤积水平, 计算水库蓄水运行后 $P=33.3\%$ ($Q_m=5800\text{m}^3/\text{s}$)、 $P=20\%$ ($Q_m=6580\text{m}^3/\text{s}$)、 $P=10\%$ ($Q_m=7540\text{m}^3/\text{s}$)、 $P=5\%$ ($Q_m=8440\text{m}^3/\text{s}$) 的频率洪水回水。20 年泥沙淤积水平 $P=33.3\%$ 、 $P=20\%$ 、 $P=10\%$ 、 $P=5\%$ 回水位别为 1625.90m、1626.90m、1627.77m、1628.73m。梨园上游翻坝码头 20 年泥沙淤积上述频率的回水位为 1618m。

参考文献:

[1] 胡标兵. 叙渝段典型卵石急流滩整治技术研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2009.

[2] 刘建民, 刘俊涛. 沙卵石浅滩整治水位及整治线宽度确定方法的研究 [J]. 水道港口, 2014, 25: 19-25.

[3] 王涵. 山区河流深槽卵石起动规律研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.

[4] T Saville. Laboratory data on wave run up and over topping[M]. Lake Okeechobee Levee Sections, U S Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Washington, DC, 1955.

[5] 方昭昭, 朱仁传, 缪国平. 数值波浪水池中航行船舶辐射问题的数值模拟 [J]. 水动力学研究与进展, 2011, 26(1) 66-72.

[6] Koutitas Christopher G. Elements of computational hydraulics [M]. New York: London Pentech Press, 2016.

[7] 窦国仁. 丁坝回流及其相似律的研究 [J]. 水利水运科技情报, 1978, (3): 1-24.

[8] 长江重庆航道工程局勘察设计院. 长江重庆至宜宾河段滩险整治情况资料集 (1953~2012) [R]. 重庆: 长江重庆航道工程局勘察设计院, 2013.

[9] Einstein H A. The bed load function for sediment transportation in open channel flows [R]. In: U. S. Dept. Agri. Tech. Bull. 1950.

[10] 杨胜发, 周华君, 胡江. 内流河宽浅变迁河段水沙运动规律研究 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2009.

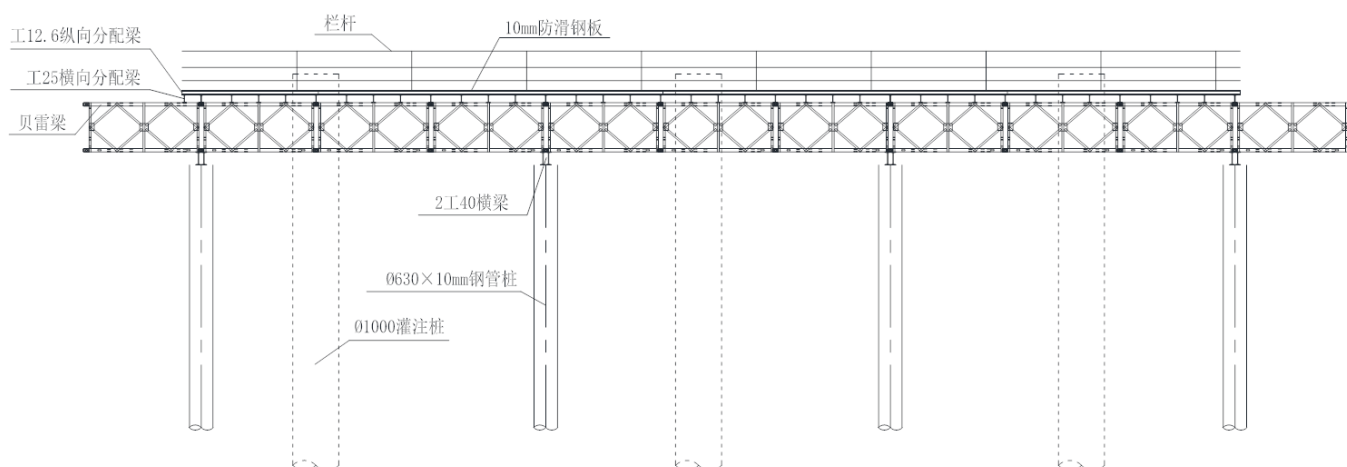


图1 纵断面示意图

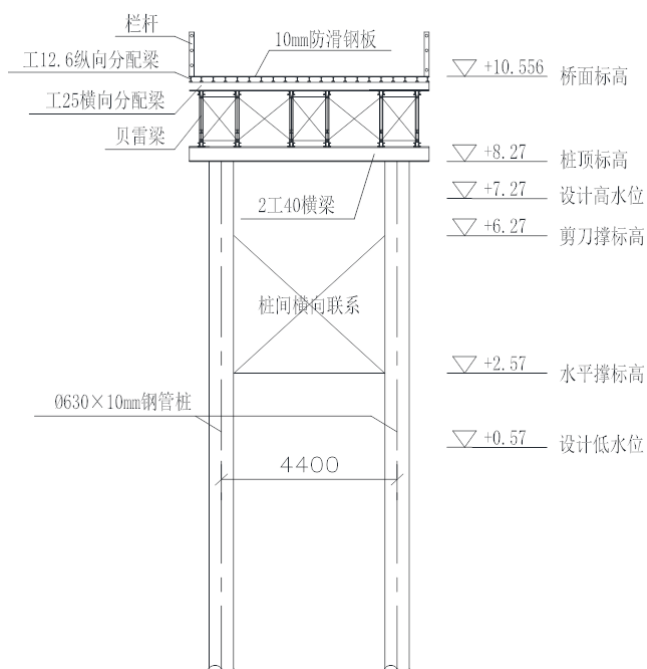


图2 横断面示意图

1.3 材料参数

本工程钢便桥除贝雷片纵梁采用 16Mn 钢材外，其余均采用 Q235B。

2 上部结构有限元分析

2.1 建模

取钢便桥中间 $3 \times 12\text{m}$ 建模，模型如图 3 所示。

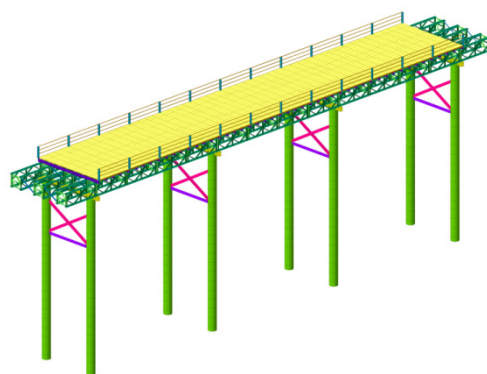


图3 钢便桥分析模型

2.2 边界条件

- (1) 钢管桩在嵌固点处固接 (采用假想嵌固点)；
- (2) 钢管桩与横梁弹性连接；
- (3) 横梁与贝雷梁弹性连接；
- (4) 贝雷梁与横向分配梁弹性连接；
- (5) 横向分配梁与纵向分配梁弹性连接；
- (6) 纵向分配梁与面板弹性连接；
- (7) 两相邻贝雷梁之间共节点,同时释放梁端约束。

2.3 荷载

- (1) 结构自重荷载：由软件自动计入。
- (2) 12m^3 混凝土搅拌车满载 45t，轴重分布如图 4 所示。



图4 混凝土搅拌车轴重分布示意图

(3) 70t 履带吊：自重 61t，吊重 10t，履带尺寸为 5.15m×0.76m，履带中心间距 4.0m。

(3) 水水力、风荷载根据《港口工程荷载规范》(JTS 144-1-2010) 计算。

(4) 临时材料堆放、人群荷载、管线荷载：5kN/m²。

表 1 荷载系数

分项系数	正常使用极限状态	承载能力极限状态
可变荷载	1	1.5
永久荷载	1	1.3

结构重要性系数：取 1.0

调整系数：取 1.0

冲击系数：取 1.1

2.4 工况

工况一：履带吊作业；

工况二：混凝土搅拌车通行；

工况三：车辆停止通行，抵抗台风。

2.5 分析结果

经验算，横梁、横向分配梁、纵向分配梁、面板在最不利工况下组合应力均小于 Q235B 钢材强度设计值 215Mpa，其中，最大值出现在纵向分配梁，值为 132.9Mpa。贝雷片纵梁最大组合应力为 253.7Mpa，小于 16Mn 钢材强度设计值 310Mpa，贝雷纵梁最大竖向变形为 12.6mm，小于 L/400=30mm。

钢管桩基础最大支反力为 798.8kN（详见图 5），钢管桩最不利工况下的最大弯矩为 87.51kN·m（详见图 6），钢管桩稳定性、入土深度计算中采用此数据进行手算。

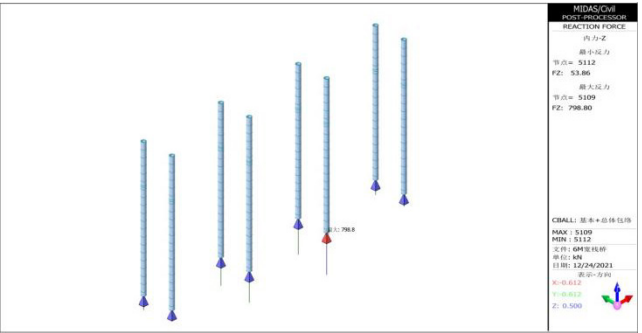


图 5 钢管桩最大支反力

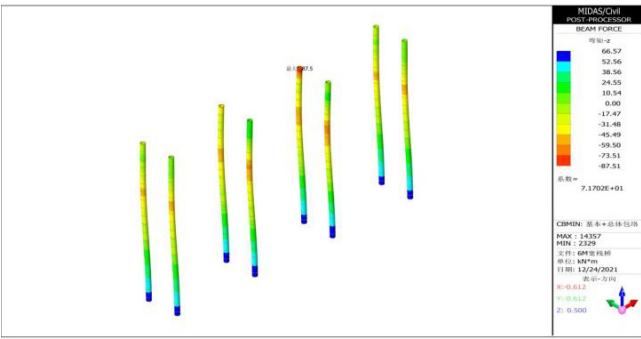


图 6 钢管桩最大弯矩

3 钢管桩基础手算

3.1 钢管桩稳定性分析

钢管稳定性分析考虑车辆正常行驶荷载、车辆制动荷载、安装误差、水水力及风荷载。

3.1.1 桩基嵌固点

根据《码头结构设计规范》(JTS 167-2018) 钢管桩的相对刚度系数： $T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{m b_0}}$ ，其中 $b_0 = k_f(1.5d + 0.5) = 1.3m$ ，表层土为淤泥， $m = 3000kN/m^4$ ， $T = \sqrt[5]{\frac{E_p I_p}{m b_0}} = 2.5m$ 受弯嵌固点距离泥面的深度为 $t = 2T = 5m$ 。受水平力或力矩的桩，入土深度宜满足弹性长桩的条件，即入土深度不小于 $4T = 10m$ 。

3.1.2 钢管桩轴心受压稳定系数计算

根据《码头结构设计规范》(JTS 167-2018) 桩身压屈计算长度 $l_c = 0.7 \times (l_0 + 4.0T) = 13.16m$ 。长细比 $\lambda = \frac{l_c}{i} = 60$ ， $\lambda \sqrt{\frac{f_y}{235}} = 31.3$ 。

根据《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152-2012) 按 b 类截面，查表得 $\varphi = 0.931$ 。

3.1.3 钢管桩偏心弯矩计算

按《码头结构施工规范》(JTS 215-2018) 的规定，钢管桩的垂直度偏差不得超过 1%，偏心距取计算长度的 1%。偏心距 $e = 13.16 \times 1\% = 0.1316m$ ，根据上部结构有限元分析结果，钢管桩轴力为 798.8kN，偏心弯矩 $M_{偏心} = F \times e = 798.8 \times 0.1316 = 105.12kN \cdot m$ 。

3.1.4 最不利工况钢管桩弯矩

根据上部结构有限元分析结果，钢管桩最不利工况下的最大弯矩为 87.51kN·m。

3.1.5 钢管稳定性计算

根据《水运钢结构设计规范》(JTS 152-2017)，压弯钢管的整体稳定按下列公式进行计算：

$$\text{钢管压弯稳定相当折算应力} = \frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{1x} (1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ex}}} \leq f$$

$$N'_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{1.1\lambda_x^2}$$

将钢管桩弯矩、轴力代入上述公式，经计算，钢管桩压弯稳定相当折算应力为 $110\text{MPa} \leq 215\text{MPa}$ ，满足承载力要求，稳定性满足要求。

3.2 钢管桩入土深度计算

3.2.1 工程地质情况

自上而下，场地岩土层主要有淤泥①厚 22.52m、淤泥质土②厚 10.70m、粉质粘土③厚 7.10m、砂土状强风化凝灰熔岩④厚 12.90m。

3.2.2 桩基设计参数

表 2 桩基设计参数

岩土层名称	桩侧极限摩阻力标准值	桩端极限阻力标准值
淤泥①	13	-
淤泥质土②	15	-
粉质粘土③	70	2500
砂土状强风化凝灰熔	100	7200

3.2.3 单桩承载力验算

钢管桩按桩尖进入粉质粘土③层 0.5m 考虑，总入土深度 33.72m。

$Q_d = \frac{1}{\gamma_R} (U \sum q_{fi} l_i + \eta q_{RA}) = 1163.78\text{kN} \geq$ 单桩最大轴力 798.8kN，故单桩承载力满足要求。

综上所述，整体结构承载力、刚度、稳定性满足要求。

4 结语

该钢便桥采用手算与 Midas Civil 软件分析相结合的方法进行验算，在三种不同工况下承载力、刚度和稳定性满足要求。实践证明，该高桩码头施工钢便桥设计是合理可行、安全可靠的。Midas Civil 软件建模的便捷性，为结构优化节省了大量时间，其计算结果的精确度也确保了后续桩基手算的可靠性。常规手算与 Midas Civil 软件结合在类似施工临时结构验算方面具有参考价值。

参考文献：

[1] 郑小荣. 水中钢栈桥设计与施工工艺 [J]. 中国水运 (下半月), 2019, 19(05): 195-196.
[2] 陈舜杰, 关键, 林壮宏. 贝雷片钢便桥结构稳定性有限元分析 [J]. 珠江水运, 2014(12): 23-25.

[3] 李程远, 肖长华, 杨威, 等. 彬江袁河特大桥临时钢栈桥施工技术 [J]. 施工技术, 2014(12): 75-78.

[4] 周水兴, 何兆益, 邹益松, 等. 路桥施工计算手册 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

[5] 北京迈达斯技术有限公司. Midas 工程应用指南 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

[6] 殷雅俊, 范钦珊. 材料力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.

[7] 黄绍金. 装配式公路钢桥多用途手册 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

[8] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 码头结构设计规范: JTS 167—2018[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.

[9] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 港口工程荷载规范: JTS 144—1—2010[S]. 北京: 人民交通出版社, 2010.

[10] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 水运工程钢结构设计规范: JTS 152—2012[S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.

