

台风-波浪耦合作用下钢管桩施工平台力学行为分析

李胜利, 胡亚楠, 王东炜

(郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 针对阳江核电跨明渠大桥施工钢栈桥和支架平台在台风和波浪力等荷载作用下的安全问题, 利用通用有限元分析软件 ANSYS, 建立栈桥和平台的有限元模型, 对栈桥和平台结构进行力学行为计算. 结果表明: 三种荷载组合作用下平台板稳定性和钢管桩的强度都满足要求, 在极端风荷载和波浪力共同作用下, 平台的变形也不是太大, 但灌注桩两侧钢管桩支撑较少, 稳定性较差.

关键词: 钢管桩; 贝雷梁; 台风; 波浪荷载; 有限元

中图分类号: U445.4 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2014.06.020

0 引言

施工平台为施工临时结构且处于深水区, 设计受到可行性、水位变化、周期、施工工艺以及经济效益等众多因素的制约, 修建于近海的还要考虑海潮、波浪、台风、海水腐蚀等环境因素, 施工平台事故造成了大量的经济损失^[1-3]. 钢管桩施工平台结构简单, 相对固定, 承载力大, 抗弯抗剪性能好, 在成孔过程中对成孔质量有保证, 便于施工和拆除, 所以良好的结构性能和明显的经济效益使得钢管桩施工平台在大型水上桥梁施工中经常用到. 但是, 施工平台构架均在施工水位以上, 桩的自由长度较长, 刚度较差, 当平台受到较大水平力, 如风力、水流冲击力等或是冲刷较大时, 平台容易失稳^[4-6], 所以施工平台在水平力作用下的安全问题尤其重要. 笔者结合当地的水文环境资料、规范、文献, 利用通用有限元分析软件 ANSYS 建立分析模型, 对阳江核电跨明渠大桥施工钢栈桥和支架平台在台风和波浪力等荷载作用下的安全问题进行分析, 为工程的安全施工提供理论依据.

1 工程概况

阳江核电跨明渠大桥钢栈桥桥面净宽 4 m, 施工平台全宽 18 m, 水深约 17~18 m, 拟采用排间距为 1 m 的两排 $\phi 610$ mm 壁厚 $\delta = 10$ mm 钢管

桩连成整体承台作为承重基础, 每排 8 根, 桩净间距 2 m. 桩顶用 $\delta = 10$ mm 的钢板封口后, 在其上用 I 32b 工字钢做分配梁, 工字钢上纵向安装贝雷纵梁作为主承重结构. 纵桥向考虑挠度不能过大, 两排钢管桩纵向间距采用 1.0 m, 连成整体, 形成独立承台; 该平台的纵、横断面如图 1~2 所示. 根据现场情况, 支架现浇平台与施工钢栈桥综合考虑同时搭设^[7], 栈桥施工工艺如图 3 所示.

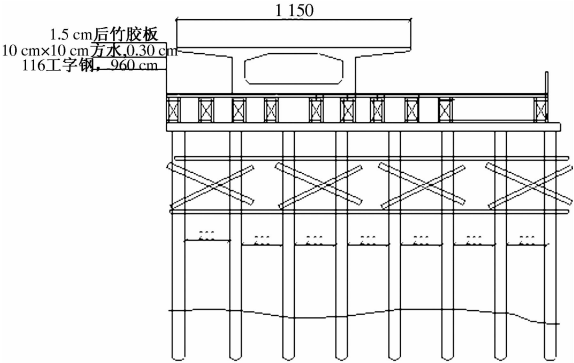


图 1 钢栈桥和平台横断面

Fig. 1 Steel trestle and platform cross-section

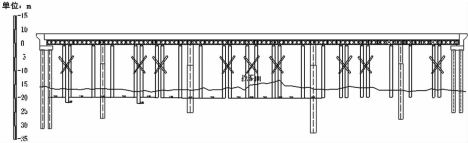


图 2 钢栈桥和平台纵断面

Fig. 2 Steel trestle and platform vertical section

收稿日期: 2014-06-30; 修订日期: 2014-09-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51208471); 河南省科技攻关计划项目(142102210486); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20114101120008); 郑州大学优秀青年教师发展基金(1421322059).

作者简介: 李胜利(1979-), 男, 河南辉县人, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事土木工程灾变分析与监测研究, E-mail: lsl2009@126.com.

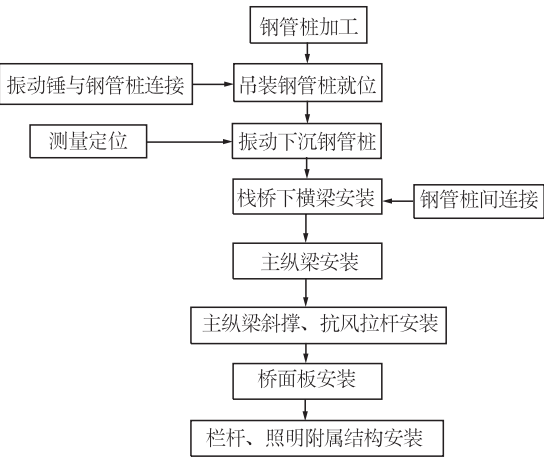


图 3 栈桥施工工艺
Fig. 3 Trestle construction proces

2 有限元建模

2.1 有限元模型

本平台结构的分析采用 ANSYS 进行. 钢管桩采用管单元 pipe16, 桥面板采用壳单元 shell63, 其他构件采用梁单元 beam44. 钢材弹性模量取 $2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, 泊松比取 0.3. 在保证足够计算精度和运算速度的情况下, 合理划分单元, 整个模型共划分了 4 272 个单元^[8-9], 平台结构有限元模型如图 4 所示.

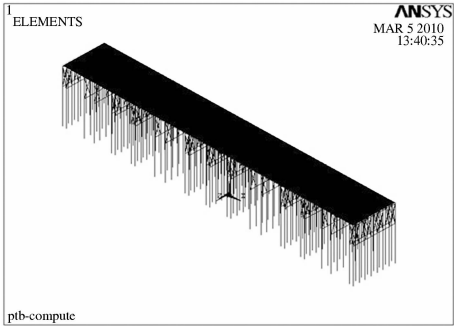


图 4 平台结构有限元模型
Fig. 4 Finite element model of the platform

2.2 钢管桩及钢护筒长度的确定

钢管桩长度根据规范提供的弹性长桩嵌固点的计算办法确定. 受弯嵌固点距泥面深度 $z = \eta T$, η 为系数, 通常取 1.8 ~ 2.2, 桩顶铰接或桩的自由长度较大时取较小值, 桩顶嵌固或桩的自由长度较小时取较大值; 经计算, 受弯嵌固点距泥面深度 $z = 3.845 \text{ m}$. 受弯嵌固点处为固定端约束.

2.3 施工荷载的确定

施工荷载主要包括: 混凝土及模板自重、施工人员 和 料 具 等 行 走 运 输 或 堆 放 荷 载、风 荷 载 和 波 浪 荷 载. 其中, 混凝土及模板自重按照实际几何尺

寸确定, 施工人员和料具等行走运输或堆放荷载按《桥涵手册》取 150 kg/m^2 计算^[10]. 50 t 履带车两条履带中, 每条履带单位压力为 56 kN/m , 长 4.5 m , 履带轴心间距 2.5 m . 根据最不利布载原则, 履带车荷载采用隔跨布载的方式.

风荷载计算参考《公路桥梁抗风设计规范》偏安全地布于露出水面的钢管桩和平台横桥向节点上^[11]. 规范中风荷载的公式为

$$F_H = 0.5 \rho V_g^2 C_H A_n.$$

式中: ρ 是空气密度; V_g 是静阵风风速; C_H 是阻力系数; A_n 是投影面积; 该工程图纸设计采用的是 1949 ~ 1995 年以工程海区为中心, 100 km 内出现的台风极大风速, 采用 Gumbel、Person 分布方法, 计算出海区 10 m 高度处的 2 min 平均风速和多年一遇风速统计值. 该工程海区 10 km 范围内海域的极值参数估计 100 年重现期, 最大风速值是 57.44 m/s . 则每根钢管桩水面以上 4.83 m 处的风荷载为

$$F_H = 0.5 \rho V_g^2 C_H A_n = 0.5 \times 1.25 \text{ kg/m}^3 \times 67.92 \text{ m}^2/\text{s}^2 \times 0.6 \times 4.53 \text{ m}^2 = 7\,832 \text{ (N)}.$$

横桥向作用下贝雷纵梁单位长度上的横向阵风荷载为

$$F_H = 0.5 \rho V_g^2 C_H H = 0.5 \times 1.25 \text{ kg/m}^3 \times 71.52 \text{ m}^2/\text{s}^2 \times 1.9 \times 3 \text{ m} = 18\,212 \text{ (N/m)}.$$

波浪力按《海港水文规范》进行计算^[12], 并等值均布于处于水中的钢管桩节点上. 阳江核电站 WSW 方向百年一遇波浪波高 $H = 0.7 \text{ m}$, 周期 $T = 10.2 \text{ s}$, 波浪波长 $l_0 = 87 \text{ m}$, 海水容重 $\gamma = 10.25 \text{ kN/m}^3$. 由规范可知, 作用在钢管桩上的波浪总力为: $P = 18\,299 \text{ N}$; 计算得作用点离水底面的高度为 16.26 m .

2.4 计算工况

根据最不利荷载原则, 进行布载如下:

- (1) 钢栈桥受力计算工况: 平台板荷载 + 风荷载 + 波浪力 + 50 t 履带车 (加在栈桥上);
- (2) 灌注桩施工平台受力计算工况: 平台板荷载 + 风荷载 + 波浪力 + 50 t 履带车 (加在施工灌注桩平台上);
- (3) 支架平台受力计算工况: 平台板荷载 + 混凝土箱梁及施工模板等自重 + 风荷载 + 波浪力.

2.5 稳定性分析方法

结构的失稳可简单表述为: 结构在某一荷载作用下处于一种不稳定的平衡状态, 荷载增量为微量, 但位移增量很大. 令参考荷载 F_0 , 对应的几何刚度矩阵为 K_s^0 , 设屈曲极值荷载为 F_c , 且与参考荷载存在关系: $F_c = \lambda_c F_0$, λ_c 为临界荷载比

例因子.并假设材料的本构关系为线弹性.这样得到这一类稳定问题的特征方程: $|K_L + \lambda_c K_S| = 0$,求解广义特征值方程,解出最小特征根 λ_c ,即为稳定系数.

3 结果与讨论

3.1 钢栈桥力学行为分析

计算荷载:平台板荷载+风荷载+波浪力+50 t履带车(加在栈桥上).先计算50 t履带车加在栈桥上,贝雷梁的支座反力为205 468 N,满足要求.稳定性计算结果见图5和表1.结果表明:在所加荷载作用下,该栈桥整体一阶稳定性系数为7.011,满足设计规范要求(规范要求为4.0).

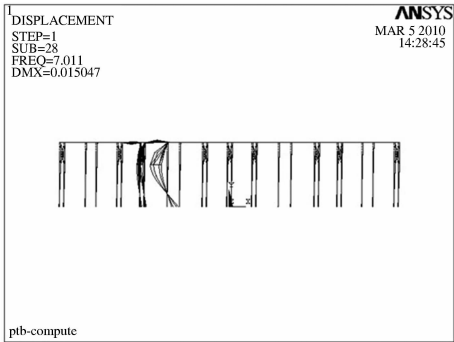


图5 一阶失稳立面图
Fig.5 First-order instability elevation

表1 钢栈桥前三阶稳定系数

Tab.1 Former steel trestle third-order stability facto		
稳定阶数	稳定系数	失稳特征
1	7.011	桥墩外侧钢管桩纵桥向失稳
2	7.085	桥墩外侧钢管桩纵桥向失稳
3	7.099	桥墩内侧钢管桩纵桥向失稳

根据《桥规》^[13]考虑荷载的最不利组合,然后计算该工况下钢管桩的最大应力.钢管桩施工平台的应力为管桩绝对值最大轴向应力,其值是20.8 MPa,钢管桩外边缘最大弯曲应力绝对值是194 MPa,钢管桩剪应力绝对值最大值是8.76 MPa,根据中国工程建设标准化协会标准《钢管混凝土结构与施工规程》中16Mn钢(厚度 $t < 16$ mm)的抗压、抗拉强度设计值为315 MPa,可见,轴向应力、钢管桩外边缘最大弯曲应力和钢管桩剪应力满足规范设计要求.

根据《桥规》考虑荷载的最不利组合,然后计算该工况下钢管桩的最大变形量,钢管桩变形最大值发生在桩顶面处,横向变形最大值是0.956 m,变形值较小.

3.2 灌注桩施工平台力学行为分析

计算荷载为:平台板荷载+风荷载+波浪力+50 t履带车(加在施工灌注桩平台上).

稳定性计算结果见图6,结果表明:不会发生稳定性失稳问题.

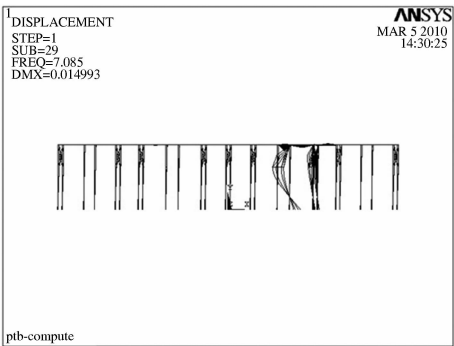


图6 二阶失稳立面图
Fig.6 Second-order instability elevation

根据《桥规》^[13]考虑荷载的最不利组合,然后计算该工况下钢管桩的最大应力.钢管桩施工平台的应力为钢管桩绝对值最大轴向应力,其值是29.5 MPa,钢管桩外边缘最大弯曲应力最大值是193 MPa,钢管桩绝对值最大的剪应力发生在钢管桩顶部,最大值是8.7 MPa,根据中国工程建设标准化协会标准《钢管混凝土结构与施工规程》中16 Mn钢(厚度 $t < 16$ mm)的抗压、抗拉强度设计值为315 MPa,可见,轴向应力、钢管桩外边缘最大弯曲应力和钢管桩剪应力满足规范设计要求.

根据《桥规》^[13]考虑荷载的最不利组合,然后计算该工况下钢管桩的最大变形量,它发生在桩顶面处,横向变形最大值是0.096 m,变形值较小.

3.3 现浇支架平台力学行为分析

计算荷载为:平台板荷载+混凝土箱梁及施工模板等自重+风荷载+波浪力.

稳定性计算结果见图7.结果表明:在所加荷载作用下,该栈桥发生了整体失稳现象.主要原因可能是钢管桩横向支撑约束不够造成的.

根据《桥规》^[13]考虑荷载的最不利组合,然后计算该工况下钢管桩的最大应力.钢管桩施工平台的应力为钢管桩绝对值最大轴向应力,其最大值是64 MPa,钢管桩外边缘最大弯曲应力绝对值发生在靠近跨中灌注桩外侧钢管桩中部,最大值是313 MPa,钢管桩绝对值最大的剪应力发生在所示钢管桩顶部,最大值是32.2 MPa.根据中国工程建设标准化协会标准《钢管混凝土结构与施工规程》中16 Mn钢(厚度 $t < 16$ mm)的抗

压、抗拉强度设计值为 315 MPa,因此,轴向应力、钢管桩外边缘最大弯曲应力及钢管桩剪应力满足规范设计要求。

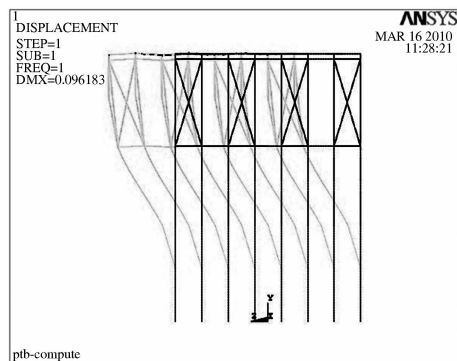


图7 侧向变形图

Fig. 7 Lateral deformation maps

根据《桥规》^[13]考虑荷载的最不利组合,然后计算该工况下钢管桩的最大变形量。钢管桩变形最大值发生在桩顶面处,横向变形最大值是 0.104 m,变形值较大。

4 结论

(1)3种最不利荷载组合作用下平台板稳定性均满足要求,但灌注桩两侧钢管桩支撑较少,稳定性较差,需引起重视;

(2)钢管桩的强度满足要求;

(3)在极端风荷载和波浪力共同作用下,平台的变形较小,刚度满足要求。

参考文献:

- [1] 罗晓刚.南坡坪黄河特大桥钢栈桥工程施工技术[J].铁道建筑,2010(10):33-34.
- [2] 刘涛,艾晓东.杭州湾跨海大桥南岸栈桥设计及施工方案[J].石家庄铁道学院学报,2004(5):66-69.
- [3] 李宗长,唐宏路,蔡勇.巴东长江公路大桥北岸栈桥方案设计与施工[J].世界桥梁,2004(4):76-78.
- [4] 赵明华,黄利雄,刘思思.横向荷载对基桩竖向承载力的影响分析[J].公路交通科技,2009,26(07):44-49.
- [5] 汪宏,李志明,王林,等.大直径钢管桩承载力的非线性分析[J].岩土力学,2005(S1):213-217.
- [6] 居艮国,吕风梧.波浪力作用下钢管桩施工平台随机动力响应分析[J].铁道科学与工程学报,2006(5):70-74.
- [7] 田学林,王立辉.深水激流钢栈桥施工技术[J].铁道建筑技术,2009(12):36-38.
- [8] 李学民,伍军,李国亮,等.开口钢管桩竖向承载力机理及计算探讨[J].桥梁建设,2005(4):38-40.
- [9] 刘荣浩.跨海大桥施工平台计算机仿真分析[J].石家庄铁道学院学报,2005(18):49-53.
- [10] 交通部第一公路工程总公司.桥涵手册(下册)[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [11] 中华人民共和国交通部.JTG/TD 60—01—2000,公路桥梁抗风设计规范[S].北京:人民交通出版社,2000.
- [12] 中华人民共和国交通部.JTJ 213—1998,海港水文规范[S].北京:人民交通出版社,1998.
- [13] 中华人民共和国交通部.JTG D60—2004,公路桥涵设计通用规范[S].北京:人民交通出版社,2004.

Mechanical Behavior Analysis of Steel Pipe Pile Construction Platform Under the Coupling Action of the Typhoon and Wave Loads

LI Sheng-li, HU Ya-nan, WANG Dong-wei

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The security issues of construction steel trestle and scaffold platforms for the cross channel bridge of Yangjiang nuclear power under the coupling action of the typhoon and wave loads are researched. The finite element model about construction steel trestle and scaffold platforms is built with ANSYS software and the mechanical behavior is calculated. The results show that the stability of the platform and the strength of the steel pipe pile meet the requirements under three kinds of loading combinations. Under the combined effect of the extreme wind and wave forces, the deformation of the platform is not too much, but the support of both sides of the steel pipe pile is not enough and the stability is worse.

Key words: steel pipe pile; Beilei beam; typhoon; wave load; finite element