

基于遗传算法的高桩码头 新型分缝结构优化设计*

牛兴伟¹, 沈才华²

(1. 江苏省交通科学研究院, 江苏南京 210017; 2. 河海大学, 江苏南京 210098)

摘要: 针对高桩码头使用过程中分缝结构常出现裂缝甚至破损的问题, 以浙江省某高桩码头作为研究对象, 以ANSYS软件作为有限元分析工具, 在施加位移约束的工况下, 采用遗传算法对分缝结构的尺寸和形式进行优化设计, 得到新型分缝结构的设计参数。经 ANSYS 建模并施加作用力荷载验证, 结果表明: 新型分缝结构具有缝齿和缝槽间相互作用力、弹性变形以及横向错位位移小的优点, 能够有效保证码头分缝结构的安全。

关键词: ANSYS; 遗传算法; 高桩码头; 分缝优化

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)06-0059-05

Optimization on new joints structure of high-pile wharf based on genetic algorithm

NIU Xing-wei¹, SHEN Cai-hua²

(1. Jiangsu Transportation Institute, Nanjing 210017, China; 2. Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To counter the problems of crack or breakage of high-pile wharf joints structures during operation, we take a high-pile wharf in Zhejiang province as the research object and ANSYS as the FEA tool to optimize the size and type of joints structure with displacement constrained and using the genetic algorithm and get the design parameters of a new joint structure. After modeling and applying force loads of ANSYS, we obtain the result which shows that the new joint has a smaller interaction force between the seam teeth and slots, a smaller elastic-plastic deformation and a smaller lateral dislocation displacements, which can ensure the safety of joints effectively.

Key words: ANSYS; genetic algorithm; high-pile wharf; joints optimization

高桩码头在使用中的受力可以分为内力和外力, 内力主要包括因材料热胀冷缩而产生的温度应力和自身不均匀沉降而引起的沉降应力作用; 外力主要包括门机荷载、船舶碰撞等。通过在结构段与结构段之间留有伸缩缝, 使相邻结构段之间可以产生相对变位, 用来释放温度应力和沉降应力。伸缩缝的结构和构造形式直接影响码头分段之间传递水平力的性质^[1]。

在实际使用过程中, 分缝结构往往因受力不合理而出现严重裂缝甚至破损的情况。对天津港的相

关调查表明, 在一些码头伸缩缝处产生了不同程度的挤碎开裂, 甚至发生门机轨道挤弯的情况, 有问题的伸缩缝占被调查总数的90%以上^[2], 常规设计的伸缩缝所能吸收的变形量已无法满足连续岸线加长后的变形要求, 建议加大伸缩缝的宽度至50 mm, 并采用一些新的弹塑性材料进行填缝^[3]。目前, 国内外对码头分缝形式的研究及相关成果很少, 无法为码头设计方案的改进和优化提供理论支撑。因此, 有必要结合目前的工程实践, 对现有码头的伸缩缝进行研究, 为码头分段设计提供依据。

收稿日期: 2013-10-16

*基金项目: 浙江省交通厅资助项目 (2011W03)

作者简介: 牛兴伟 (1987—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事水运规划、水工结构设计及优化的研究。

1 结构优化方法及软件

ANSYS 是一款大型通用有限元分析软件，具有强大而精确的结构分析能力，提供了零阶法和一阶法两类优化方法，可以处理绝大多数的优化问题，但对于需要多次迭代计算才能收敛的最优化问题，往往很难找到全局最优解或近似全局最优解^[4]。

近年来，遗传算法作为一种全新的随机搜索与优化算法得到了迅速的发展，其适用于处理传统搜索方法难以解决的高度复杂的非线性问题，具有智能性、并行性、全局优化稳健性等优点^[5]。随着计算机数据处理能力的不断提高，遗传算法的群体搜索策略和个体信息交换从理论变为了现实。

为了充分利用 ANSYS 软件的计算精确性高和遗传算法的全局搜索能力强的优势，本文采用 C++ Builder 平台编写了基于 ANSYS 和遗传算法的码头凹凸型结构缝优化设计软件，界面见图 1。



图 1 码头结构缝优化设计软件

2 分缝结构优化设计

2.1 工程概况

选取浙江省某高桩码头作为研究对象，码头平台长 451 m，宽 22 m，码头平台结构采用纵横梁等高连接大节点方案，桩基采用预应力混凝土大管桩，横向排架间距为 9 m，码头分段长度为 76.8 m。码头面高程为 6.20 m，前沿设计底高程为 -16.40 m。因分缝结构横向 (Y 向) 变形和受力特点相似，分析时只考虑单个缝齿和缝槽的情况 (图 2)。

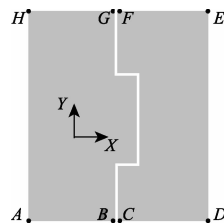


图 2 分析对象

2.2 优化执行思路

因遗传算法需要进行多次迭代计算，考虑到计算效率的因素，本文采用先施加位移约束进行优化计算、再施加作用力荷载检验优化效果的思路。

考虑到初始设计中，由于分缝结构的形式和尺寸不合理，导致外部水平向冲击能作用下，分缝两侧结构出现应力集中现象，使两侧材料不能均匀地同时起作用而充分发挥材料强度，出现局部先破坏现象。因此，在优化计算时，以缝齿和缝槽间的等效应力差最小，即充分发挥结构缝两侧材料强度为目标，建立目标函数；以缝齿宽度 b ，填料摩擦系数 μ ，缝齿角度 α 为设计变量；以缝齿和缝槽接触处角点处的位移差 Δy ($\Delta y = y_{N_1} - y_{N_2}$) 为状态变量，见图 3。

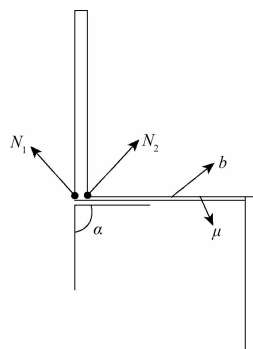


图 3 设计变量和状态变量

2.3 参数设置

初始设计中，分缝处的缝齿宽 b 为 0.30 m，填缝料摩擦系数 μ 为 0.20，缝齿角度 α 为 90° 。文献 [6] 对不同吨位的船舶靠岸速度进行了统计，认为一般货轮 (包括大吨位货轮) 的靠岸速度在 0.015 m/s 以下。文献 [7] 通过船舶与高桩码头碰撞过程的数值模拟与不同规范的船舶靠岸力公式计算结果进行对比分析，发现修正 Woisin 公式计算结果偏大，且相比其它规范的公式其偏差最大。从偏向安全的角度考虑，对码头分段施加修正 Woisin 公式计算的

靠岸碰撞力 (基于 0.015 m/s 的速度靠岸) 经有限元计算发现, 单纯的靠岸碰撞力引起的码头分段横向位移为 0.013 m, 本文优化时取 0.015 m。

遗传算法编码时, 缝齿宽度 b , 填缝料摩擦系数 μ , 缝齿角度 α 的染色体长度分别为 5, 5, 7, 优化精度分别为 0.01 m, 0.01, 1°。在交叉运算中, 选择均匀交叉法。优化计算过程以最大世代数为终止条件, 以此来控制计算进度。

优化参数的设置及优化过程中的数据见图 4。在程序运行结束后, 最后一次迭代所产生的最优个体即为最优解。

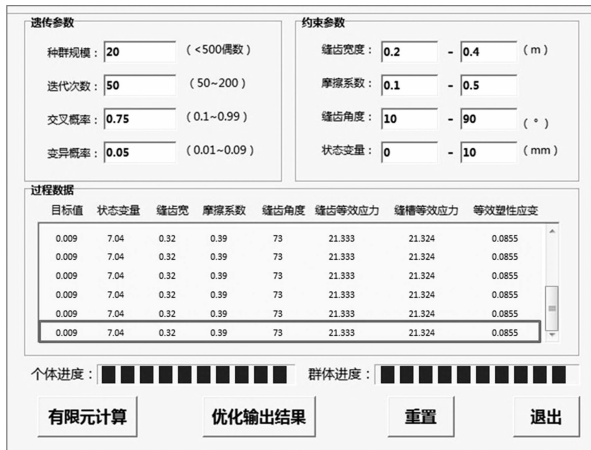


图 4 参数设置及分析过程

2.4 优化结果整理

以遗传优化得到的最优设计变量作为设计参数, 建立的新型分缝结构 (图 5), 整理优化前后的计算结果, 得到分缝结构的缝齿宽度、填料摩擦系数、缝齿角度、缝齿缝槽的等效应力及其相对值大小 (表 1)。

优化后的分缝结构形式在位移控制条件下, 缝齿和缝槽两边等效应力大小基本保持一致, 没有出现初始设计中缝槽受力明显大于缝齿的应力集中现象, 充分发挥了两侧材料的强度。优化后, 两边相差仅为 0.009 MPa, 相对初始设计减小了 99.6%。



图 5 新型分缝结构

表 1 优化前后参数对比

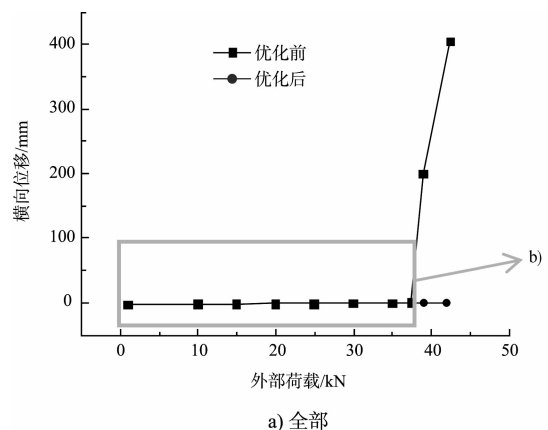
设计	设计变量			状态变量	缝齿等效应力/MPa	缝槽等效应力/MPa	目标函数 相对应力/MPa
	缝齿宽度/m	填料摩擦系数	缝齿角度/(°)	位移约束/mm			
初始设计	0.30	0.20	90	2.8	18.377	20.528	2.151
优化设计	0.32	0.39	73	7.0	21.333	21.324	0.009

3 施加作用力荷载验证

为了验证优化后的分缝结构是否能有效保护分缝的安全, 对分缝结构的有限元模型施加一个横向作用力荷载, 大小分别为 1, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 37.5, 40, 42.5 kN, 作用于图 2 中 A-B 边所在的底面上。

10 种工况下分缝结构在外力作用下横向错动位移见图 6。在外力由小到大的过程中, 优化后的分缝结构始终比优化前的分缝结构具有更小的横向错动位移, 说明通过优化设计增大了分缝结构的刚度, 从而减小了结构在外力作用下产生的变

形, 有利于保护面板上部设备的安全。



a) 全部

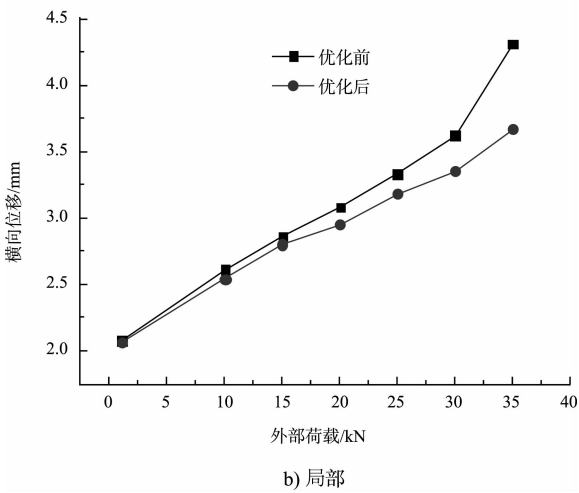


图6 分缝结构横向位移

分缝结构的最大等效应力、最大等效弹性应变和最大等效塑性应变的变化过程见图7~9。从图中可以看出，在材料屈服前，新型分缝结构受到的等效应力、等效弹性应变和等效塑性应变基本都小于优化前的结构，受力更加合理。当材料屈服后，优化前的结构出现了明显的应力软化现象（图7），这也导致了其塑性应变急剧上升的现象（图9），从宏观上来看，其整体变形也在急剧上升（图6）；而此时新型分缝结构应力软化现象相对缓慢很多，缝齿和缝槽间依然具有较大的抗力，结构整体的塑性应变只是在缓慢增加，宏观上来看，结构的变形也是缓慢增长。很显然，在材料屈服后，新型分缝结构依然比优化前的结构受力合理，有利于保护码头分缝结构的安全。

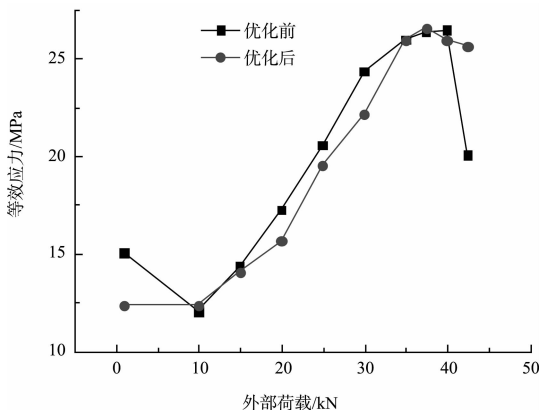


图7 最大等效应力变化曲线

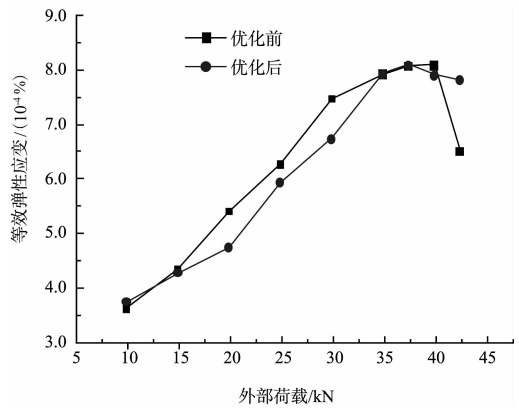


图8 等效弹性应变变化曲线

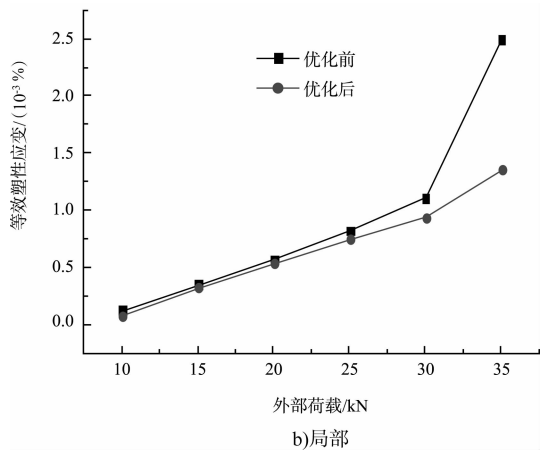
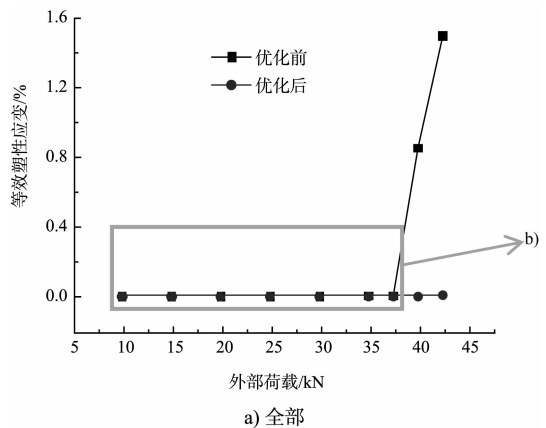


图9 等效塑性应变变化曲线

图10为外力达到42.5 kN时分缝结构的等效应力云图，其中，优化前的分缝结构最大等效应力为20.1 MPa，而新型分缝结构的最大等效应力为25.7 MPa，依然具有较大的抗力。从图10中还可以看出，优化前的分缝结构变形相当严重，结合上文的分析可知，已处于破坏阶段，而新型分缝结构的变形则相对小许多，还不至于影响码头的正常使用。

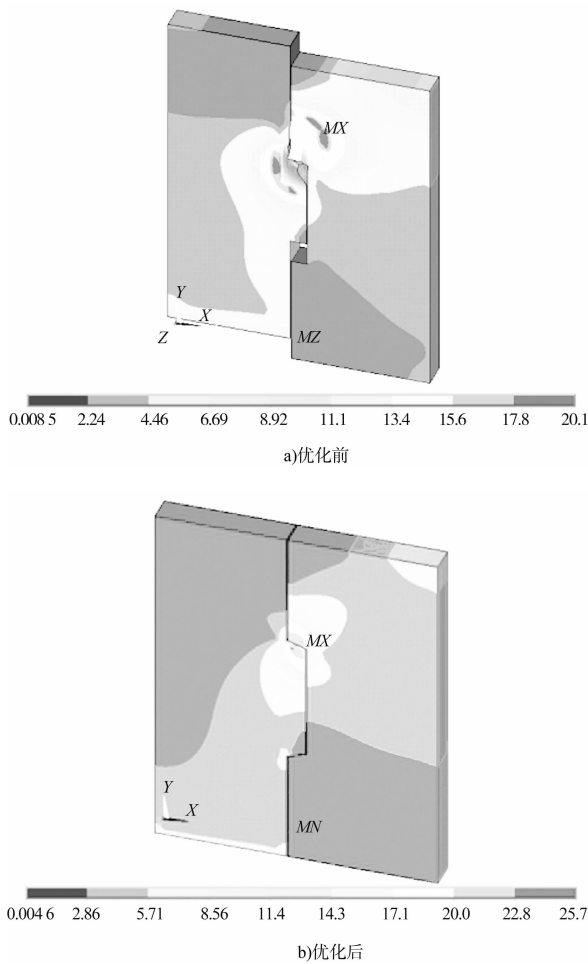


图 10 分缝结构等效应力 (单位: MPa)

由此可见, 优化后的结构形式在相同冲击能作用下, 避免了结构形式不合理而产生的应力集中现象, 最大限度地降低了破坏的出现。

4 结语

利用本文的码头分缝结构优化软件, 将遗传算法应用于高桩码头新型分缝结构的优化设计中, 获得了理想的优化结果。同时, 采取先施加位移约束得到最优设计参数, 再施加作用力荷载来验证优化效果思路, 有效提高了遗传优化效率。

经施加作用力荷载验证, 基于遗传优化得到的新型分缝结构, 相比优化前的结构受力更合理。在同样冲击能的情况下, 新型分缝结构具有缝齿和缝槽间相互作用力、弹塑性变形以及横向错位位移小的优点, 有利于对分缝结构的保护。

参考文献:

- [1] 牛兴伟, 沈才华, 孙会想. 高桩码头分缝处工后缝宽有限元分析[J]. 水运工程, 2012(6): 121-124.
- [2] 马秀和, 竺存宏. 高桩码头结构中伸缩缝有关问题的探讨[J]. 水道港口, 1998(1): 7-12.
- [3] 阮学明. 高桩码头伸缩缝破坏情况的分析与建议[J]. 中国港湾建设, 1997(6): 17-18.
- [4] 徐业飞. 铝合金人行天桥结构分析[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [5] 刘泽. 基于模糊和多目标进化算法的建筑工程施工进度优化研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.
- [6] 中山种清. 船舶靠岸力调查[J]. 土木技术(日本), 1973, 28(9): 41-46.
- [7] 张淑华, 李攀, 江君. 船舶与高桩码头碰撞过程的数值模拟[J]. 水运工程, 2012(6): 97-101.

(本文编辑 武亚庆)

· 消 息 ·

港珠澳大桥岛隧工程沉管隧道基床载荷板试验完成

5月15日, 港珠澳大桥岛隧工程项目总经理部顺利完成对E15管节位置基床载荷板试验。现场试验人员克服多日连续阴雨天气, 严格执行数据收集方法, 相关监测数据采集记录完毕。

该试验系统由荷载块、承压板、基准板、基准板吊架、测量系统, 以及荷载块与承压板之间的吊具组成, 采用大型起重船进行水下吊装测试。项目总经理部进行了为期半个月的沉管隧道基床载荷板试验, 旨在获取不同基础类型施工期隧道基础的瞬时沉降量。

港珠澳大桥岛隧工程已安装10个管节, 隧道总长达到1665m, 沉管安装即将进入伶仃主航道区。此次试验在数据分析、试验规模, 应用效果上, 运用了先进的沉降测量系统、荷载块限位系统, 确保了试验数据的准确性, 为深水、深槽区沉管安装提供了科学依据。

(来源: 港珠澳总经理部)