

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.01.023

减载空箱锚碇桩组合结构在板桩码头中的应用

张福贵, 卢光田

(江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225009)

摘要:结合工程实际,在板桩码头设计中提出减载空箱锚碇桩组合结构,运用竖向弹性地基梁法进行结构分析,并与传统的单锚板桩结构进行对比.分析和应用结果表明:该组合结构通过空箱减载,使墙后土体和码头面可变荷载引起的主动土压力减小,结构内力大幅降低,水平位移减小,提高了结构安全性,并能有效降低工程造价.此组合结构在岸壁式板桩码头工程中有一定的适用性,尤其在工程地质条件差、码头前沿有较大的工艺荷载或工程场地受限制无法设置锚碇的板桩码头工程中更为合适.

关键词:减载空箱 锚碇桩 组合结构 板桩码头 弹性地基梁

中图分类号: U656.1⁺12

文献标志码: A

文章编号: 1000-1980(2011)01-0115-04

随着我国港口经济的快速发展,港口建设与岸线资源紧缺的矛盾日益显现.建设挖入式港池码头具有延长岸线、多建泊位、掩护条件好等优点,逐步受到港口建设主管部门的重视.挖入式港池码头结构通常采用重力式和板桩结构.板桩码头结构主要有无锚板桩、单锚板桩、多锚板桩、斜拉板式板桩、遮帘式板桩、卸荷式板桩等结构形式^[1-4],尤为单锚板桩结构应用较多.板桩码头一般布置在江河滩地上,地质条件均比较差,结构挡土高,同时考虑装卸工艺要求,码头前沿常承受龙门吊、运输机械等可变荷载,板桩结构需承受墙后土体和码头面可变荷载产生的主动土压力^[5],导致板桩结构尺寸较大.为减小墙后主动土压力,结合港池建设条件和装卸工艺,笔者提出了减载空箱锚碇桩组合结构.此组合结构的形式为前沿挡土为地下连续墙,在墙后的单排或多排锚碇桩上结合码头装卸平台设置空箱,并形成整体结构,从而可减小墙体挡土高度和板桩的结构尺寸,节省工程造价.

1 减载空箱锚碇桩组合结构受力特征

减载空箱锚碇桩组合结构的受力简图如图 1 所示.

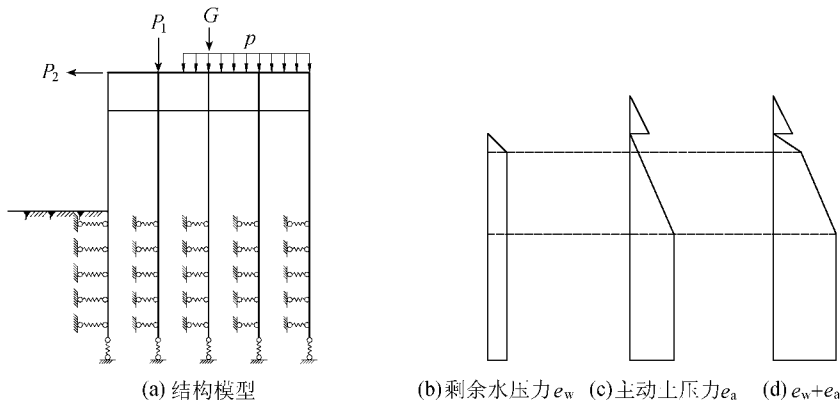


图 1 减载空箱锚碇桩组合结构受力简图

Fig. 1 Forces acting on composite structure of empty box with shedding load and anchor piles

组合结构考虑的荷载主要有^[6]结构自重(G)、剩余水压力(e_w)、墙后主动土压力(e_a)、装卸机械轮压

(P_1)、码头面堆载(p)和船舶系缆力(P_2)。

剩余水压力应根据板桩墙前、后水位确定。当板桩设置排水孔并且墙前水位高于排水孔时,可不考虑剩余水压力;当板桩设置排水孔并且墙前水位低于排水孔时,墙后水位可取排水孔高程。

墙后主动土压力按式(1)^[1]进行计算。

$$e_a = \left(\sum \rho_i g h_i \right) K_a \cos \delta - 2c \frac{\cos \varphi \cos \delta}{1 + \sin(\varphi + \delta)} \quad (1)$$

其中

$$K_a = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos \delta \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin \varphi}{\cos \delta}} \right]^2}$$

式中: e_a ——由土体本身产生的主动土压力水平强度标准值; ρ_i ——计算面以上各层土的密度; g ——重力加速度; h_i ——计算面以上各土层的厚度; K_a ——计算土层土的主动土压力系数; δ ——计算土层土与墙面间的摩擦角; c ——计算土层土的黏聚力; φ ——计算土层土的内摩擦角。

结构自重、装卸机械轮压、码头面堆载、船舶系缆力等荷载可按JTJ 215—98《港口工程荷载规范》相关规定计算确定。

组合结构内力计算按竖向弹性梁法,假定入土段板桩、排桩水平向设有若干弹性杆连接,竖向设有一个弹性支承^[7-8]。弹性杆的弹性系数由水平地基反力系数乘以杆间距确定,水平地基反力系数按文献[1]建议的公式(A.0.1)计算。弹性支承的支座反力系数取板桩、排桩的轴力反力系数,可按JTJ 291—98《高桩码头设计与施工规范》^[9]中公式(3.5.7-1)和(3.5.7-2)计算。

2 工程实例

2.1 工程概况

国鼎(南通)管桩有限公司港池工程位于如皋经济开发区石化园区长江如皋中汊水道上段北岸,港池两侧各设2000吨级泊位1个,港池设计总长度为100m,宽45m,设计高水位2.92m,设计低水位-0.43m,码头前沿泥面高程为-5.90m(国家85高程系),面高程为4.30m。港池两侧每25.0m设250kN系船柱,距码头前沿2.50m设龙门吊轨道,轨道延伸至后方管桩堆场安装2台跨度为50.0m、起重量为750kN的龙门吊,并机装卸作业,运输管桩上船。

2.2 组合结构设计

港池码头结构形式为减载空箱锚碇桩组合结构,码头前沿挡土为0.6m厚钢筋混凝土连续墙,墙底高程-15.70m,墙后设置5根PHC600管桩^[10]形成一排,并兼作锚碇桩,顺港池长度方向间距2.50m,排桩底高程-18.65m。连续墙和排桩上设置钢筋混凝土减载空箱。空箱底板厚0.60m,底高程1.30m,顶板厚0.40m,面高程4.30m。码头组合结构断面及各土层物理力学指标如图2所示。

2.3 组合结构的受力分析及比较

码头结构受力分析为设计高水位和设计低水位2种工况,设计低水位工况为控制工况,本文仅对设计低水位工况进行结构分析。采用水工结构内力计算与图形处理(SCR04)软件^[11]进行结构计算,其结构弯矩及位移如图3所示。

为研究减载空箱锚碇桩组合结构的特点,选取单锚板桩结构方案进行对比分析。根据工程地质条件和工艺要求确定单锚板桩结构方案。板桩码头前沿挡土采用0.8m厚钢筋混凝土连续墙,墙底高程-20.50m,墙顶高程1.20m,板桩墙上设置高3.10m厚1.50m胸墙,胸墙下端每隔5.00m设置预制靠船构件,沿长度方向每25.0m设250kN系船柱。板桩码头锚碇结构采用3根直径800mm的钢筋混凝土灌注桩^[12],桩间距2.40m,排距2.50m,锚杆为直径80mm的Q235钢拉杆,锚杆高程1.70m,间距1.50m。龙门吊轨道基础为PHC600管桩,桩底高程为-20.50m,桩顶高程为2.80m,桩顶上设置宽1.00m、高1.50m的轨道梁。码头前沿铺设钢筋混凝土硬化路面。对比分析主要结果见表1。

从表1可知,减载空箱锚碇桩组合结构在很大程度上减少了墙后土体和可变荷载引起的主动土压力,使板桩结构内力大幅降低、水平位移减小。其中,板桩最大正弯矩减少37.1%,板桩最大负弯矩减少19.5%,码

头最大水平位移减少 31.3%,板桩厚度和入土埋深减小,造价节省 9.8%左右.

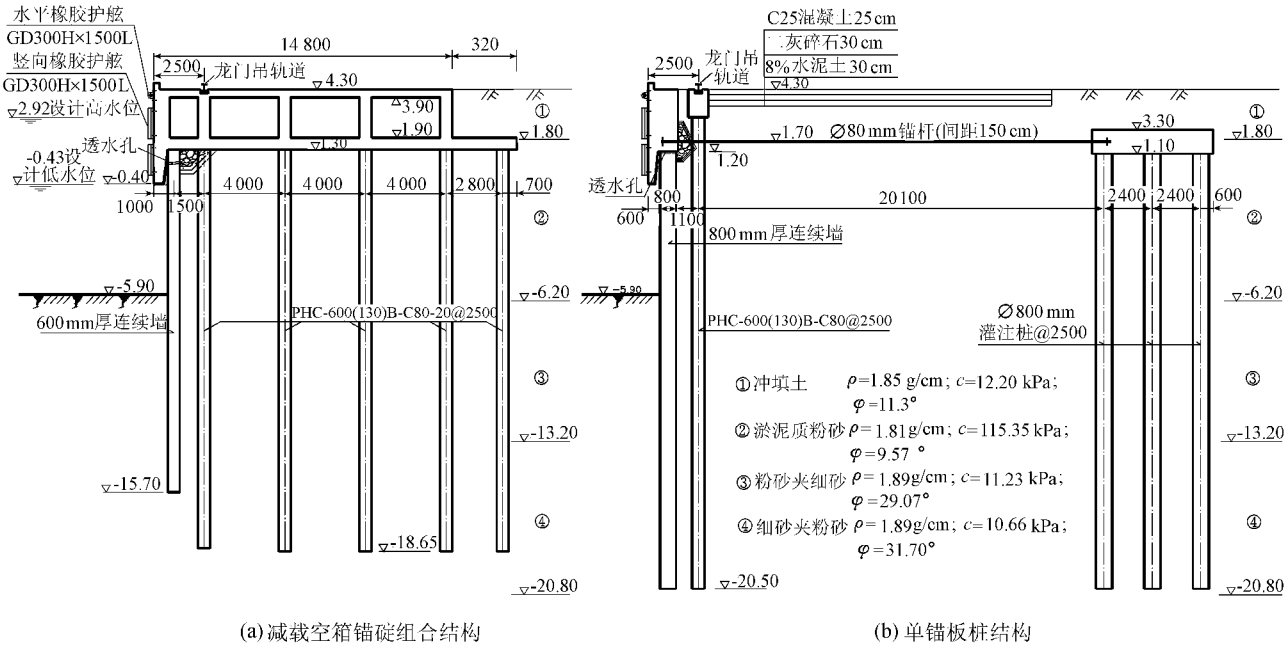


图 2 港池结构断面及各土层物理力学指标(高程单位 :m,尺寸单位 :mm)

Fig. 2 Cross-section of basin structure and physical and mechanical indices of soil layers (elevation unit :m, dimension unit :mm)

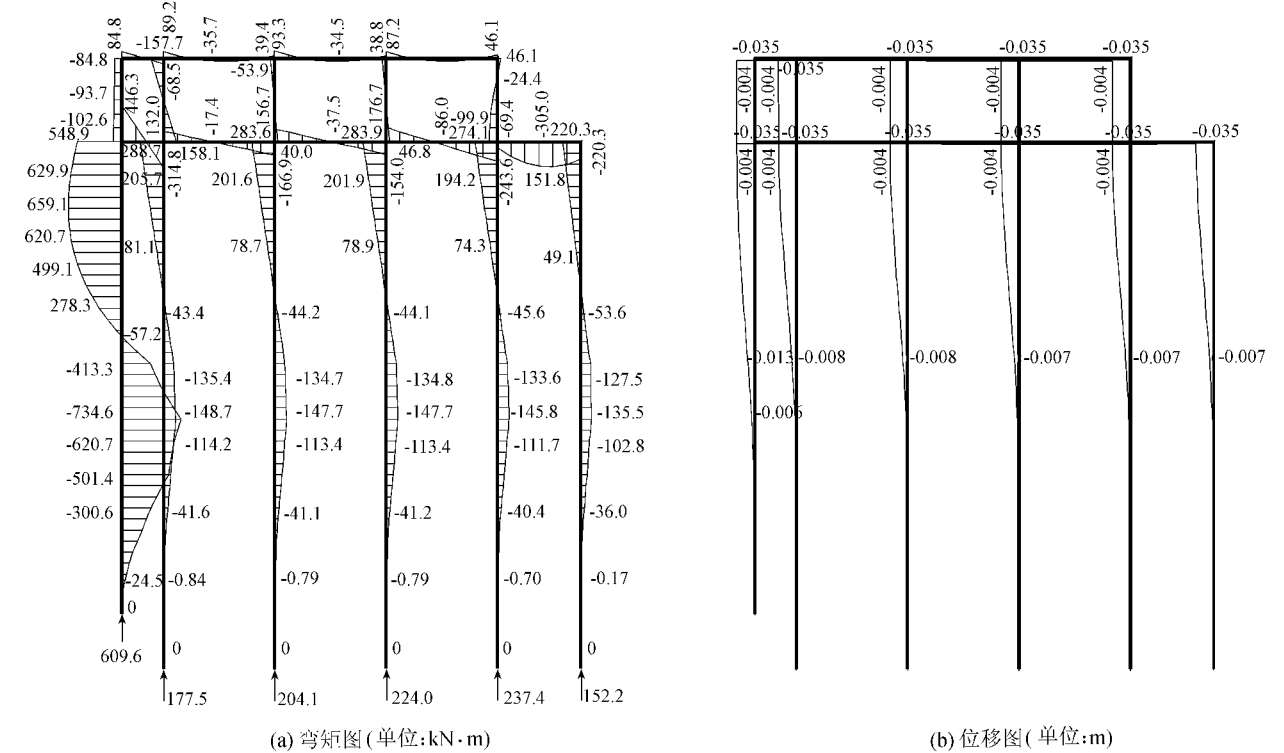


图 3 港池结构弯矩和位移

Fig. 3 Moment and displacement of basin structure

2.4 现场监测结果

为检验减载空箱锚碇桩组合结构的应用效果,本工程在码头前沿结构分缝处的空箱顶部设置 2 个位移观测点,4 个角点设置沉降观测点.根据监测数据,码头前沿水平位移在 17~24 mm 之间,沉降量在 2~4 mm 之间.现场监测资料表明 实测码头水平位移和沉降量均小于计算值,计算结果与实际监测结果基本吻合;工程投入使用近 2 a,结构未发生任何异常情况,工程运行安全可靠.

表 1 对比分析主要结果

Table 1 Main results of comparative analyses

对比项目	地连墙 厚度/m	板桩最大正弯矩 标准值/(kN·m)	最大正弯矩 作用高程/m	板桩最大负弯矩 标准值/(kN·m)	最大负弯矩 作用高程/m	码头水平 位移/mm	造价/ (元·m ⁻¹)
减载空箱锚碇桩 组合结构	0.60	659.1	- 1.1	- 734.6	- 8.7	35	72 653
单锚板桩结构	0.80	1 048.3	- 5.3	- 912.8	- 13.6	51	80 537

3 结 语

本文介绍的减载空箱锚碇桩组合结构是岸壁式板桩码头结构的演变.该组合结构具有整体性好、结构安全可靠、板桩内力减小、水平位移小、造价低等优点,可运用在岸壁式板桩码头工程中,尤其适合工程地质条件差、码头前沿有较大的工艺荷载、控制码头水平位移小及工程场地受限制无法设置锚碇的板桩码头工程.

参考文献：

[1] JTS 167—3—2009 板桩码头设计与施工规范[S].

[2] 韩理安.港口水工建筑物[M].北京:人民交通出版社,2000 :47-66.

[3] 王云球.港口水工建筑物 :Ⅱ [M].北京:人民交通出版社,1990.

[4] 李德锦.格形钢板桩结构在港口工程中的应用[J].港工技术,1997(1) :28-34. (LI De-nie.The application of cellular steel sheet pile structure on the port engineering[J].Port Engineering Technology, 1997(1) :28-34. (in Chinese))

[5] 钱家欢.土力学[M].南京:河海大学出版社,1995 :120-152.

[6] 交通部第一航务工程勘察设计院.港口工程结构设计的算例[M].北京:人民交通出版社,1998 :192-206.

[7] 郑瑞杰,陶永才.单锚地下连续墙板桩码头的 3 维有限元数值模拟[J].中国水运,2009,9(3) :246-247. (ZHEN Rui-jie,TAO Yong-cai.3-D FEM numerical simulation of sheet pile wharf of diaphragm retaining walls with single anchor[J].China Water Transport, 2009,9(3) :246-247. (in Chinese))

[8] 张政生.板桩码头的有限元解法及计算机处理[J].水运工程,2004(7) :38-40. (ZHANG Zheng-sheng.Finite element computing method and computer treatment of sheet pile wharf[J].Port & Waterway Engineering, 2004(7) :38-40. (in Chinese))

[9] JTJ 291—1998 高桩码头设计与施工规范[S].

[10] 苏 G03—2002 先张法预应力混凝土管桩[S].

[11] 河海大学.水工结构内力计算与图形处理软件(SGR04) [CP].南京:河海大学,2009.

[12] JTJ 254—1998 港口工程桩基规范[S].

Application of composite structure of empty box with shedding load and anchor piles in sheet pile wharfs

ZHANG Fu-gui, LU Guang-tian
(Jiangsu Provincial Investigation, Design and Research Institute of Water Conservancy Co., Ltd., Yangzhou 225009, China)

Abstract :Based on the experience in project practices, the composite structure of empty box with shedding load and anchor piles was proposed for building sheet pile wharfs. The vertical elastic foundation beam method was adopted to analyze the structure. The proposed structure was compared with the traditional sheet pile wharf with single anchorage. The analytic results and applications indicate that the proposed composite structure can effectively reduce the active earth pressure induced by the earth behind the wall and the variable load on wharf surface. The internal force of the structure greatly decreases and its horizontal displacement decreases. It improves the structural safety and effectively reduces the engineering cost. The proposed structure is applicable to the construction of bulkhead sheet pile wharfs, especially to the situations with adverse engineering geological conditions and the large load in front of wharfs or the fields which are restrictive and impossible to set anchor piles.

Key words :empty box with shedding load ; anchor pile ; composite structure ; sheet pile wharf ; elastic foundation beam