



新型桶式基础结构防波堤主要施工技术

练学标

(中交第三航务工程局有限公司江苏分公司, 江苏连云港 222042)

摘要: 连云港徐圩港区防波堤直立段设计创新地采用了新型桶式基础结构——单桶多仓结构。通过对浮游稳定、无底模板工艺、桶体场内搬运、气浮负压下沉工艺的运用及自动化控制系统的研发, 形成了成套施工技术。介绍该技术的应用, 为该结构的推广应用提供技术支持。

关键词: 新型桶式基础; 施工; 技术

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)02-0162-05

Main construction technology of new bucket-based breakwater

LIAN Xue-biao

(Jiangsu Branch of CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Lianyungang 222042, China)

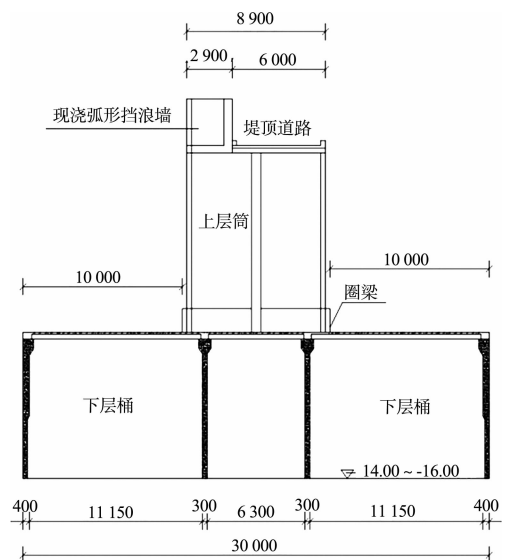
Abstract: The vertical section of Xuwei port's breakwater in Lianyungang adopts the innovative new bucket-based structure, i. e. single barrel with cellular structures. Based on the application of the floating stability, bottomless model, transfer within the precast yard and the gas floating process under negative pressure, and research and development of the automatic control system, we form a complete set of construction technology. This paper introduces the application of this technology to provide a technical support to the popularization and application of this structure.

Keywords: new bucket-based foundation; construction; technology

1 工程概况

连云港港徐圩港区防波堤工程设计^[1]采用斜坡式和直立式结构组合方案。防波堤工程分为东西两堤: 东防波堤全长 12 319.70 m, 西防波堤全长 9 662.96 m。海域地势比较平坦, 地面高程平均为 -0.5 ~ -6.0 m, 由陆侧向海域逐步降低, 软土平均厚度为 6 ~ 15 m (最厚处均达 17 m), 一般靠岸侧淤泥较深, 向海侧淤泥厚度逐渐减薄, 淤泥层下为黏土或砂土, 可作为较好的持力层。设计针对软弱淤泥厚度平均为 6 ~ 15 m 的特点, 采用插入式桶式基础防波堤结构 (图 1)。该结构断面由钢筋混凝土椭圆桶基础结构件和护底块石组成。每一组桶式基础结构件由 1 个椭圆桶体和 2 个上部圆筒体组成; 基础桶体呈椭圆形, 桶内通过隔板划分 9 个隔舱; 2 个上部圆筒体座落在基础桶的

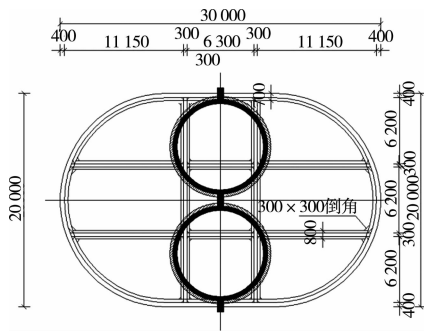
底板上, 通过底板上的杯口圈梁连接。两堤桶体数量共 390 个, 桶体最大单重 3 200 t。



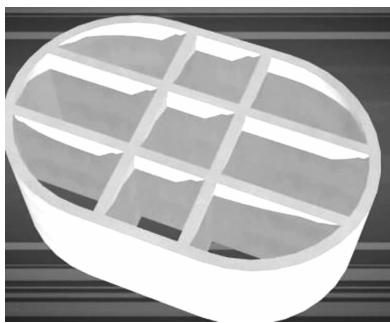
a) 防波堤设计断面

收稿日期: 2015-07-15

作者简介: 练学标 (1967—), 男, 教授级高工, 从事港口工程施工技术与管理工作。



b) 下层桶体俯视图



c) 下层桶体顶板下仓格分布

图1 新型桶式基础结构防波堤典型断面(单位:mm)

2 国内外研究概况

大直径薄壁圆筒结构首先在法国使用,随着使用范围的扩大,西班牙、丹麦、英国、加拿大、日本等陆续在港口工程中采用。我国于80年代初开始引入大圆柱壳结构,2001年初,天津港集团公司组织天津大学、一航局和一航院开展了插入式箱筒型基础防波堤结构的研究和工程试验,并进行了箱型基础防波堤结构的理论研究和模型试验。基于研究结果,确定建造试验工程。2003年天津港的试验工程采用的箱筒形基础结构由4个圆筒形构件呈矩形对称布置,由顶部的顶板和竖向连接墙将4个圆筒连接为一体。采用浮运方式拖至安装现场,再利用负压沉入土中。

徐圩防波堤创新采用的新型桶式结构与天津大学开发的四桶式结构有较大的区别——其基础桶体为椭圆形单桶结构,桶内通过隔板划分9个隔舱。由于结构不完全对称,对拖运、沉放的过程控制具有更高的难度,需要在充分研究已有技术的基础上建立一整套技术先进、操作简便、精确可靠的施工方法与控制工艺。

3 新型桶式基础结构防波堤的主要优点

1) 无需对软土地基改良。此结构为插入软土中,无需对原状软土进行挖除,也无需对软土进行改良处理。

2) 施工效率高。该结构开工准备时间短,可以多点施工,正常月份每月可以安装20多件,进尺400 m以上,施工效率高。

3) 施工方法绿色环保。施工充分根据气体与液体的特点,采用气浮、负压下沉工艺,对海洋环境的影响较少,节能环保。

4) 节约投资。以中标额为例,与同期、同地点的斜坡式砂石堤相比可以节约投资10%以上。而且砂石资源越来越短缺。

5) 结构稳固,工程美观。该工程设计在吹填段要求插入砂层不小于1.5 m。模型分析与试验段现场原位监测数据分析结果表明,该结构稳固。同时整个工程线型美观,有较好的审美效果。

4 主要施工技术

4.1 浮游稳定

新型桶式基础结构是无底结构,如何保证桶体在气浮状态下的浮游稳定安全是桶式防波堤施工可行性的关键课题之一,浮游稳定计算采用小倾角理论进行计算,安全倾角角度 $\leq 6^\circ$ 。就新型桶式基础结构浮运方式进行了试验研究^[2],试验采用1:15.6比尺进行波浪、水流、风、航速及不同吃水组合条件下的波浪物理模型试验(图2)。结果表明:该浮运方式满足浮游稳定性要求。

图2 波浪+水流+风的共同作用下
浮游稳定性试验(吃水7.0 m)

4.2 无底模板工艺

桶式基础结构下桶无底有盖,单桶九仓。主

要难度在底模板，底模板设计^[3]须充分考虑结构特点和出运工艺需求。根据数模推演与多次论证，提出两侧直线段侧墙底部采用固定底模、中间隔墙底部与侧墙圆弧段底部采用活动底模板，以解决桶体场内前移及桶体出运的力系转换。底模板沿桶体长度方向两侧为固定底模、中间为活动底模。固定钢底模采用钢筋混凝土预制块支撑钢底模，活动模板采用机械式千斤顶进行支撑调节钢底模（图3）。

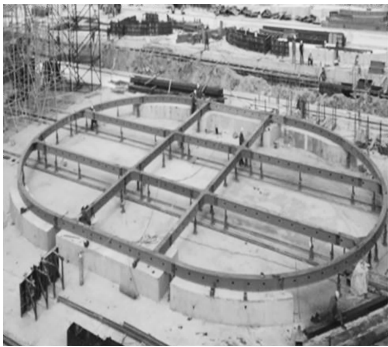


图3 桶体底模工艺

4.3 桶体场内搬运工艺

对于桶体场内搬运，对电动小车搬运、气囊搬运工艺进行比较。结果表明：电动小车具有操作方便简单、机动灵活、安全可靠、施工效率高、成本节约等优点，因此作为桶体场内搬运的首选（图4）。

根据桶体的预制及移运的特点，电动小车搬运的主要设计参数及操作要求如下：

1) 电动小车具备自动同步顶升与同步放落的功能，顶升位置要对准桶体底部纵向隔板。小车的高度受到桶体托盘气囊上驳工艺的限制，托盘与气囊可以调节的高度为 950 ~ 1 100 mm。因此台车承载按满载 3 200 t 设计，台车高度为 950 ~ 1 100 mm。两侧台车顶升着力点位于纵隔墙底部，隔墙中心间距 6.5 m。两侧均采用双轨道，轨道间距 0.7 m，轨道顶部与大板顶平。

2) 桶体通过小车场内及时搬运前移，场地周转效率提高，可以按序展开流水施工，提高桶体预制进度。

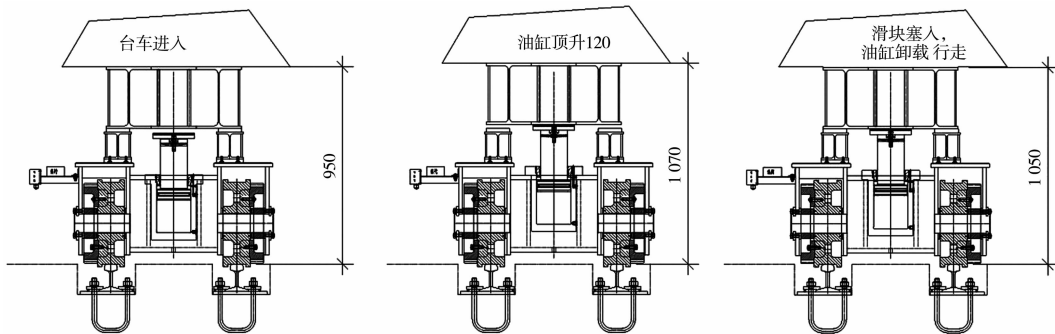


图4 桶体场内搬运过程（单位：mm）

3) 桶体下层混凝土达到设计强度后拆除中间底模，台车进入桶体底部，开启泵站同步顶升桶体 5 ~ 10 cm，使桶体脱离两侧底模，而后台车拖带桶体向前移动到预定位置落在两侧底座上，桶体上船时台车拖带桶体移动到第 1 个台座位置由气囊转运上船。

4.4 气浮负压下沉工艺及自动化控制系统

4.4.1 桶体气浮及负压安装的原理

1) 桶体气浮原理^[4]：桶体底部有一定厚度的封底水，封底水与下桶顶板之间形成具有一定气

压的气腔，气腔压缩排水形成的气浮力与封底水桶壁产生的浮力之和等于土体的重力，并符合桶体浮游稳定要求时，桶体可以进行出驳气浮作业。

2) 桶体负压下沉安装原理：首先打开气阀，桶体在自重作用下下沉，然后打开水阀，桶体继续下沉，当自重与土体的摩阻力相等时，关闭气阀与水阀，进行抽水形成空腔，空腔形成负压，桶体在负压作用下会继续下沉，到水抽完后，用真压泵抽真空，桶体下沉至符合设计高程的要求。

4.4.2 气浮负压下沉自动控制系统

根据桶体气浮及负压下沉的特点，自主研发了具有专利技术的自动控制系统。它可实时显示

桶体位置、垂直度情况、各仓格内气压情况，并通过操作控制系统自动开闭气阀、水阀，达到平衡下沉的目的（图 5）。

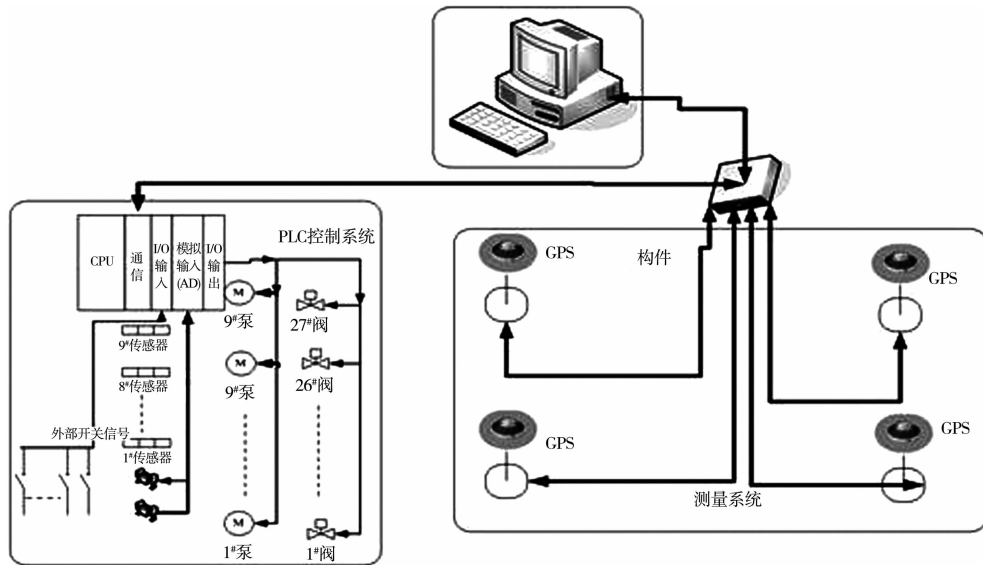


图 5 自动控制系统原理

4.4.3 气浮负压下沉安装工艺流程

在确定气浮及负压下沉工艺前，施工单位在现场进行了气浮及压下沉工艺模型试验，试验模型平面尺寸以 1:6 制作，下桶深度取 5 m。试验结论如下：

- 1) 气浮稳定工艺可行，满足气浮稳定的需要。
- 2) 负压下沉工艺可行，桶体下沉顺利，本工艺能够达到预设的下沉效果。

根据模型试验与现场试验段的安装，进一步完善了施工过程中各个环节的操作标准及控制要求，并确定了施工工艺流程（图 6）。

4.4.4 控制要点

1) 桶体出运前除安装好操作平台外，还需要调整 GPS、倾斜仪的安装架，测量调整 GPS 与桶体的相对关系参数。

2) 持续收听收看海洋天气预报，跟踪气象信息，半潜驳下潜并实施气浮作业应确保在较好的海洋状况下进行，预知风力可能达到 6 级或波高可能超过 1 m 情况时不可实施下潜气浮作业。

3) 高压气管、水管连接完成后，对接头连接是否牢固可靠应进行检查，并关闭桶体进气阀门、

开启空压机测试管道连接的安全性、气密性。

4) 为保证桶体的气浮吃水和桶体的平衡性拖带过程采用储气罐对桶体隔舱进行必要的补气作业。

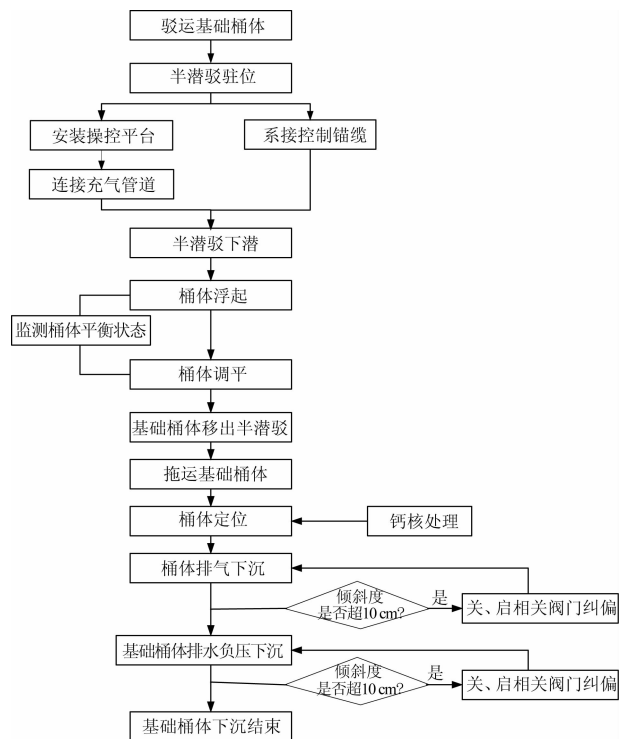


图 6 气浮负压下沉安装工艺流程

5) 桶体到达安装位置后,先打开气阀,桶体通过自重进行排气下沉,然后关闭气阀,通过抽水形成负压下沉,当快到设计高程时,打开真空泵,继续下沉至设计高程(图7)。



a) 气浮拖运



b) 抽水负压下沉

图7 桶体气浮拖运及抽水负压下沉

5 结语

1) 通过多项技术攻关,基本解决了新型桶式

基础结构施工的关键技术,桶体安装偏差满足设计要求。通过对桶体的气浮负压下沉过程及安装好后桶体在风、浪、流的作用下受力状态的监测,可知桶体受力状态符合设计要求。

2) 作为一种全新的结构,单桶多隔舱钢筋混凝土桶体比传统的防波堤结构具有明显的经济优势,最大限度地降低了对海洋环境的污染,非常适用于缺乏砂石料、有一定水深条件的软土地基,可以在类似地质环境地区推广使用。该结构在围堤护岸、海上油气平台、风力发电领域将会有更广阔的应用前景。

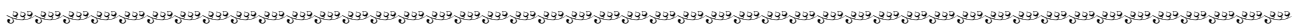
参考文献:

[1] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 连云港徐圩港区直立式结构东防波堤工程施工图[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2013.

[2] 曹永勇. 新型桶式基础防波堤在负压下沉中的稳定性试验[J]. 水运工程, 2014(7): 41-45.

[3] 徐圩港区东防波堤工程 DZL-SG2 标段项目部. 连云港徐圩港区直立式结构东防波堤工程施工组织设计[R]. 连云港: 中交第三航务工程局有限公司, 2014.

[4] 祝业浩, 倪国平, 吴风亮. 防波堤箱筒型基础结构气浮拖运与负压下沉工艺[J]. 中国港湾建设 2005, 10(5): 40-43. (本文编辑 郭雪珍)



(上接第 147 页)

参考文献:

[1] 刘永绣. 板桩和地下墙码头的设计理论和方法[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.

[2] JTS 167-3—2009 板桩码头设计与施工规范[S].

[3] 张宏焱. 大变位板桩墙结构的数值模拟与结构特性分析[D]. 天津: 天津大学, 2009.

[4] Zekri A, Ghalandarzadeh A, Ghasemi P, et al. Experimental study of remediation measures of anchored sheet pile quay walls using soil compaction [J]. Ocean Engineering, 2015(1): 45-63.

[5] 朱庆华, 钱祖宾, 张福贵. 单锚板桩墙结构整体受力分析方法[J]. 人民黄河, 2013, 35(8): 96-98.

[6] 汤子扬, 牛志国, 陈春燕. Plaxis 在板桩码头分析中的应用[J]. 水利水运工程学报, 2013(1): 81-85.

[7] Li G F, Chen C H, Jiang B F, et al. 3-D numerical study of

mechanical behaviors of pile-anchor system [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 580: 238-242.

[8] 李元音, 刘永绣. 遮帘式板桩码头结构的有限元法分析[J]. 港工技术, 2005(12): 37-40.

[9] 李荣庆, 贡金鑫, 杨国平. 板桩结构非线性有限元分析[J]. 水运工程, 2010(2): 110-115.

[10] 桂劲松, 孟庆, 李振国, 等. 基于 PLAXIS 的板桩结构非线性有限元分析[J]. 水运工程, 2011(6): 11-15.

[11] SL 252—2000 水利水电工程等级划分及洪水标准[S].

[12] 江守燕, 谢庆明, 杜成斌. 基于 ABAQUS 平台的邓肯-张 E-B 和 E-v 模型程序开发[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2011, 39(1): 61-65.

[13] 曹金凤, 石亦平. ABAQUS 有限元分析常见问题解答[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.

[14] SL 191—2008 水工混凝土结构设计规范[S].

(本文编辑 郭雪珍)