



## 大型多仓桶式基础自动沉贯技术研究\*

刘 晓, 滕燕华, 李 靖, 李 森

(中交第三航务工程局有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 水运工程大型预制混凝土桶式基础多个仓室共用同一顶板、仓室间相互耦合、调平施工难度大。基础倾角过大将引起阻力增大, 甚至导致无法沉贯到位, 因此在基础沉贯过程中需不断进行调平控制。现有调平控制依赖人工操作, 存在被动调平响应滞后、安装效率低等问题。为此, 基于大型多仓桶式基础结构特点开展自动沉贯技术研究, 提出姿态为主-压力为辅的控制模式, 将15仓桶式基础划分为8个象限、9种状态, 并基于比例-积分-微分(proportional-integral-derivative, PID)方法, 构建根据基础倾角调整比例阀开度从而控制抽水流量和仓内压力的控制算法, 编制自动调平控制程序。工程应用效果表明, 自动沉贯技术可将大型多仓桶式基础沉贯速率提升至1.5 m/h, 施工时长由原人工控制的16~18 h缩短至12 h, 效率提高约30%; 施工中监测点高差始终控制在0.15 m以内, 有效提升控制精度, 保障了沉贯安装的平稳与安全。

**关键词:** 桶式基础; 多仓耦合; 沉贯; 调平; 控制

中图分类号: U65; TU753

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)04-0228-08

### Automatic penetration technology of large multi-compartment bucket foundation

LIU Xiao, TENG Yanhua, LI Jing, LI Sen

(CCCC Third Harbor Engineering Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

**Abstract:** Large precast concrete bucket foundation for port and waterway engineering has multiple compartments sharing the same top slab, coupled with each other, and the difficulty of leveling construction is high. Excessive foundation inclination might increase resistance and even prevent sinking to designed depth. Thus, continuous and timely leveling control is vital during the sinking process. Current leveling control relies on manual operation, leading to issues such as delayed and passive leveling and low efficiency. To overcome such issues, research on automatic penetration technology is conducted based on the structural characteristics of large multi-compartment bucket foundations. A control mode dominated by foundation inclination and supplemented by pressure is proposed, and the 15 compartments bucket foundation is divided into 8 quadrants and 9 states. Using the PID (proportional, integral and derivative) method, an algorithm based on the real-time monitoring data to adjust the proportional valve opening is developed to control water extraction flow and inner pressure. An automatic leveling control program is then formulated. Engineering application results demonstrate that the automatic penetration technology can increase the penetration rate of large multi-compartment bucket foundations to 1.5 m/h. This reduces the installation time from the original 16–18 h under manual control to 12 h, with an efficiency increase of approximately 30%. Additionally, the elevation difference at monitoring points during installation is consistently maintained within 0.15 m, effectively enhancing control precision and ensuring stable and safe penetration.

**Keywords:** bucket foundation; multi-compartment coupling; penetration; leveling; control

桶式基础<sup>[1]</sup>具有底部敞开、顶部封闭的结构特点, 可通过抽水形成内外压力差, 克服阻力实

现下沉, 具有水上施工下沉无需沉桩设备、水上作业时间短、施工无噪声等优点, 在海洋工程和

收稿日期: 2025-08-14 录用日期: 2025-10-31

\*基金项目: 上海交通委员会科研项目(JT 2025-KY-030)

作者简介: 刘晓(1990—), 男, 高级工程师, 从事港口工程智能制造领域的研究工作。

通信作者: 李森(1991—), 男, 博士, 高级工程师, 从事海洋基础工程方面研究工作。E-mail: lisen11@ccccltd.cn

水运工程中应用前景广阔。大型多仓预制混凝土桶式基础结构<sup>[2]</sup>作为近年来新研发的水工结构基础形式,已在连云港徐圩防波堤工程<sup>[3-5]</sup>、洋山深水港区小洋山北作业区工作船码头和防波堤等工程<sup>[6-9]</sup>中成功应用,桶式基础最大平面尺寸 40 m×20 m、高度 34 m、质量 5 500 t、仓室数量 15 个。

桶式基础沉贯安装可分为自重力沉贯和抽水沉贯,自重力沉贯阶段仅能通过控制排气、排水阀门状态进行调平,抽水沉贯阶段可通过调整各仓室对应水泵的抽水流量,控制基础水平度和内外压差<sup>[10]</sup>。桶式基础抽水沉贯过程中要控制合理压差,压差不足无法克服阻力沉贯;压差超限则会引起桶内土体破坏,桶式基础在安装前,需通过沉贯可行性分析确定施工控制压差<sup>[11-12]</sup>。为此,桶式基础沉贯设备中集成大量传感器组成数据采集系统,在沉贯过程中对沉贯深度、桶内外压差、基础水平度、抽水流量、沉贯速率等多项参数进行监测;并通过控制系统调节水泵、阀门等执行机构工作状态,使关键施工参数符合要求,具备了实现自动化控制的基础条件。桶式基础验收的主要指标是基础沉贯深度和水平度,基础倾斜会导致沉贯阻力增大,因此沉贯过程中需尽量实时保持基础水平。

国内有些施工企业已掌握桶式基础沉贯技术与装备,但沉贯设备的控制往往依赖现场操作人员经验,难以保证沉贯控制水平和统一标准,也不利于沉贯数据的总结和提炼。国外桶式基础专业安装企业也未掌握桶式基础自动沉贯技术。舒方法等<sup>[13]</sup>提出了一种桶式基础的抽水下沉自动控制系统,以水平度为主要控制指标,通过 PLC (programmable logic controller, 可编程逻辑控制器)控制各仓排气阀开/闭和水泵开启/停止,实现了 9 隔仓桶式基础的自动沉贯和纠偏功能,并在连云港徐圩防波堤工程开展了应用验证,但存在未监测压差/流量等关键参数、控制算法简单等局限性。朱儒弟等<sup>[14]</sup>、刘志安<sup>[15]</sup>和王泉<sup>[16]</sup>依托国家“863”计划,研制了桶形基础平台负压沉贯施工智

能化监测与控制系统,其监测数据完整,包括基础沉贯深度、沉贯速率、内外压差、抽水流量和基础水平度,编程实现了传感器数据分析、控制算法决策模和沉贯自动控制,再通过控制水泵变频器工作频率调整对抽水沉贯速率、基础水平度和各隔仓压差进行控制,在我国采用 4 桶基础的海油平台 CB20B 安装中得到应用。由于胜利油田的研究于 2000 年前后开展,受限于当时的设备运算能力,所采用的控制算法较为简单;此外,胜利油田的研究针对多桶导管架基础,各桶沉贯相对独立,水运工程大型多仓桶式基础沉贯过程中各仓相互耦合,二者在结构特点、沉贯受力和控制机理方面均存在显著区别。

本文针对多仓混凝土桶式基础沉贯控制难度大、尚无成熟的沉贯自动控制系统,人工控制作业时间长、调控不及时、综合工效低等问题,建立一整套大型多仓桶式基础自动沉贯施工技术和控制算法,研发一整套大型多仓桶式基础自动沉贯控制系统,并在小洋山北作业区工程中进行应用,以提升桶式基础安装精度和效率。

## 1 硬件基础

海上风电桶式基础施工通常将供电和控制系统作为水上部分布置于起重船,将水泵、阀门、管道的泵撬块作为水下部分,通过复合电缆连接水上和水下两部分,泵撬块安装于吸力桶顶盖,随基础同步下沉,泵撬块的安装和回收所占用的工期往往超过桶式基础沉放安装时间,因此对隔仓数量达到 6~8 个的海上风电单桶多隔仓基础,通常采用“一泵多仓”控制方案,即利用 1 台水泵和管路、阀门实现对多个仓室的控制。水运工程大型多仓混凝土桶式基础通常采用上筒小、下桶大的变截面形式,下桶入土满足承载力要求,上筒出水便于施工,因此在基础安装过程中充分利用上筒始终出水的结构特点,将供电、控制系统和水泵回收机构等水上部分布置于上筒顶部预先

搭建的施工平台，待桶式基础沉贯到位后，可利用施工平台上的小型吊装设备独立同步收回水泵，再将施工平台整体吊装转运回桶式基础制作基地，故通常采用“一仓一泵”一一对应的控制方式，大幅提高了水下泵撬块回收效率，并降低了施工装备整体制作成本，系统硬件构成见图1。此外，水运工程大型多仓桶式基础的仓室数量达到15仓，远超风电单桶多仓基础的仓数。相较于“一泵多仓”方案需要设置大量液压阀门和管线所造成的施工不便，“一仓一泵”方案可有效避免此问题。

水运工程大型多仓桶式基础的硬件方案具体采用“一仓一泵”结合比例调节阀的形式，水泵采用定频泵，利用比例-积分-微分 (proportional-integral-derivative, PID) 控制算法，通过调整比例调节阀的开度控制各仓的排水状态，此外每个仓室安装一台流量计，实时监测各仓的抽水流量。同时，在施工平台上安装倾角仪用于测量桶体倾角并计算高差，以此监测桶体沉贯姿态，为沉贯自动调平提供依据。目前，已形成一套完整的自动沉贯硬件设备，具备安拆方便、控制高效等特点。

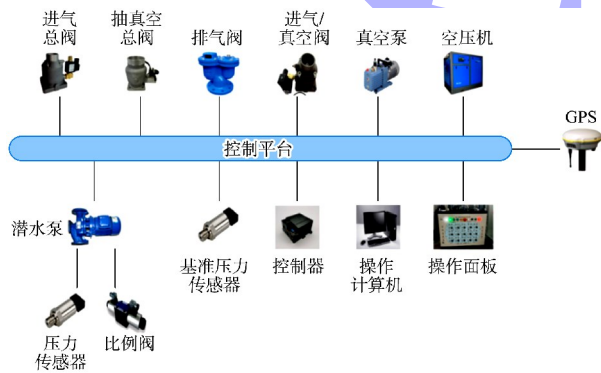


图1 系统硬件构成  
Fig. 1 System hardware composition

## 2 控制算法及系统研制

### 2.1 控制模式

#### 2.1.1 流量控制

理想状态下桶式基础完全垂直下沉，且桶端完全被土体封闭、不透水，则桶内各仓的气柱高度和桶内外液面差一致，由于桶内液体不可压缩，

各仓面积可通过计算得出，额定流量下各仓内水体方量和所需抽水时间见图2，不考虑渗流理想状态下桶内各仓累计流量与面积的比值均相等可使基础均匀下沉，即  $Q_1/A_1 = Q_2/A_2 = \dots = Q_n/A_n$ ，其中  $Q_i$  为第  $i$  个仓室的累计排水流量； $i=1,2,3,\dots,n$ ，其中  $n$  为仓室总数； $A_i$  为第  $i$  个仓室的面积。通过控制各仓累计流量与面积的比值，可实现各仓下沉量相等，即桶体调平控制。但在实际施工中，该调平控制策略对流量计的精度和性能以及现场施工环境要求较高，一旦出现设备管路、桶内土体渗流或设备损坏的情况，都会导致上述完全理想的调平控制失败。

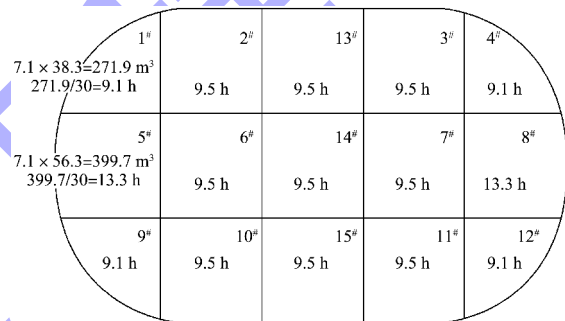


图2 流量调平控制  
Fig. 2 Flow leveling control

#### 2.1.2 压力控制

桶式基础沉贯过程中的下沉力主要由桶式基础自重力和设备抽水形成的桶内外压力差构成，理论上只有当桶式基础下沉力大于下沉阻力时，桶式基础才能实现下沉，因此理论上可通过控制仓内压力值、调节桶内外压力差来实现桶式基础调平控制，即通过实际倾角值对桶内各仓进行受力分析，确定需要进行调平控制的仓室数量和仓内压力，对相应仓室进行抽水，调整仓内压力，实现调平控制。由于多仓桶式基础各仓相互耦合，实际受力介于各仓同步均匀受力和各仓独立不均受力之间，难以准确分析；且地质条件的变化可能会导致沉贯阻力计算产生误差，影响调平控制的准确性。此外，在桶式基础沉贯过程中，应避免压力差过大引起桶内土体破坏，否则将引起密封失效，需要额外封堵处理。

### 2.1.3 姿态控制

理论上当桶式基础处于水平状态时,各仓室定位参数应处于同一水平面上,因此理论上可通过调整各仓室垂直方向位置,使其尽可能地处于同一水平面上,将偏差控制在一定合理范围内,实现桶体姿态调整以达到调平控制的目的。又因为桶式基础下沉速度与水泵排水流量密切相关,通过调节排水流量大小,可控制各仓下沉速度,从而调整各仓垂直方向位置,所以采用定频泵结合比例调节阀的形式,根据各仓定位参数,调节比例阀开度,控制各仓排水状态,实现桶式基础姿态控制。该控制方式具有每个隔仓独立控制、精度控制简单误差小、系统控制灵活、受施工环境影响小等特点。

### 2.2 系统研制

该自动沉贯系统采用姿态控制为主、压力为辅的控制模式,并结合压力监测结果综合判断施工状态。具体实施方式为,根据桶式基础沉贯施工工艺,在桶式基础1#仓、4#仓、9#仓、12#仓对应位置以及中心点设置5个定位测量点,以桶式基础中心点为基准点,利用通过倾斜仪倾角的大小判断桶体倾斜姿态并对其进行调平控制的原理,将测量的倾斜仪参数离散至桶式基础各定位测量点,计算得到测量点高差,根据高差是否超过0.15 m来判断桶式基础姿态,通过控制相应仓室潜水泵频率调整桶式基础姿态以实现桶式基础调平控制。桶式基础姿态控制将桶式基础划分为8个象限见图3,根据高差变化分为9种姿态,分别为0°方向倾斜、30°方向倾斜、90°方向倾斜、150°方向倾斜、180°方向倾斜、210°方向倾斜、270°方向倾斜、330°方向倾斜以及水平状态;将15个隔仓分为高、中、低3个梯度进行控制,每个隔仓拥有独立的控制算法;根据高程将每个象限划分为高、中、低3种控制方式。

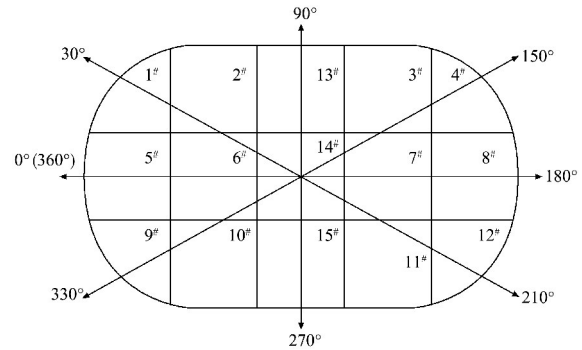


图3 桶体姿态控制

Fig.3 Bucket inclination control

桶式基础单仓控制采用PID控制算法,通过变频控制水下驱动设备,控制水流量,实现桶体姿态调平控制。多仓式桶式基础每个仓室配置一套水下驱动设备和独立控制器,根据测量点高差的变化实时控制各仓潜水泵频率,有效提高了调平控制的准确性和灵活性。桶式基础调平控制采用的控制公式如下:

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

式中:  $U(t)$  为控制器在时刻  $t$  输出的控制信号;  $K_p$ 、 $K_i$  和  $K_d$  分别为比例系数、积分系数和微分系数,可通过调整  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  参数改变控制器性能,达到控制目的;  $e(t)$  为控制偏差,即控制器输入信号与期望值之间的差值,当  $e(t) \neq 0$  时,控制器输出控制信号,驱动设备执行调平动作,以达到  $e(t) = 0$ ,即控制点相对基础中心点处于水平位置的控制目标;  $de(t)/dt$  为控制偏差的导数,即偏差的变化率;  $\int_0^t e(t) dt$  为控制偏差的积分,用于消除系统静差。

开发桶式基础自动沉贯系统程序,实现桶式基础远程自动姿态调平控制和沉贯控制,控制界面见图4。系统程序处于自动控制状态下时,程序根据倾角仪实时参数对桶体姿态进行动态预警,并根据桶体姿态划分9种状态见图5。当发生倾斜偏移时,根据控制算法远程下发指令,自动调节各仓水泵频率并实时监测桶体姿态及各项施工参

数变化,同时实时监测桶内外压差,通过理论分析计算得到临界压差,程序实现动态监测报警,将压差控制在临界压差范围内,保证桶式基础稳

定下沉,能有效提高施工效率和控制精度、降低施工安全风险。

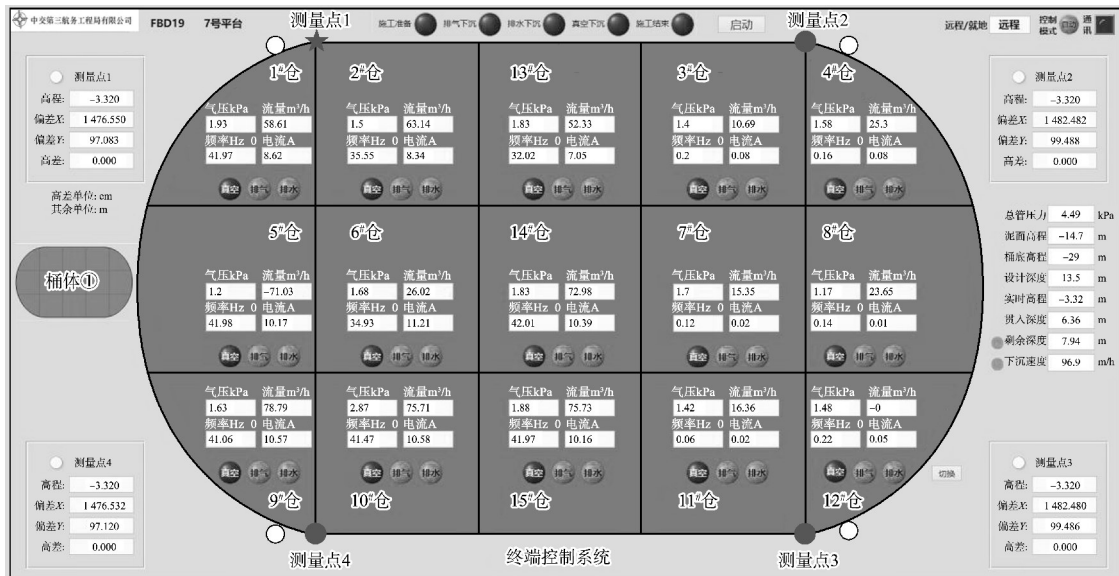
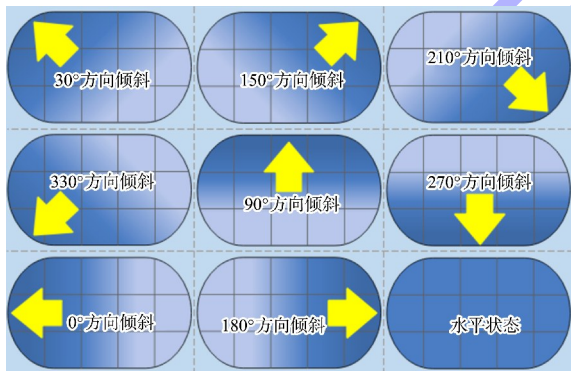


图4 自动沉贯控制程序

Fig. 4 Automatic penetration control program



注:以图4中桶体①姿态图示为例。

图5 桶式基础姿态图示

Fig. 5 Bucket foundation inclination control diagram

### 3 现场应用情况

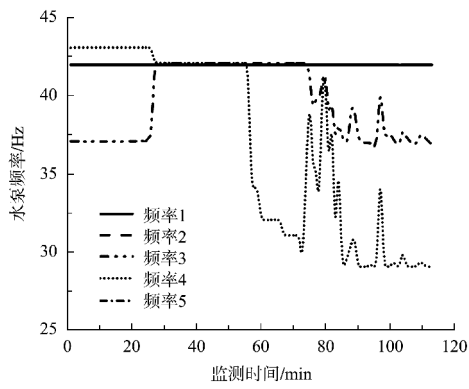
桶式基础自动沉贯采用桶体姿态控制结合压力控制的方案,应用于小洋北工作船码头工程和防波堤工程,使得桶式基础在排水下沉等施工阶段始终保持平稳状态,当某个方向上高差大于或等于0.15 m时,对高点采用增大阀门开度的控制方式,通过调节比例调节阀加大对应隔仓排水流

量操作,其他隔仓排水流量保持不变,监控桶内外压力差使其始终保持在确保基础稳定下沉的合理范围内。自动控制技术的应用提升了沉贯施工速度,以防波堤工程桶式基础FBD19为例,部分安装记录见表1,自动控制模式下平均沉贯速度约为1.5 m/h,施工时长约12 h,与人工控制模式下16~18 h的施工时长相比施工效率得到大幅提升。

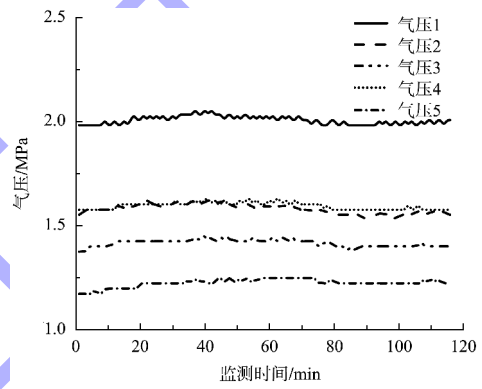
通过沉贯系统程序实时监测桶体姿态数据,自动监测预警桶式基础倾斜偏差,利用PID控制算法对各仓实施独立实时控制,纠正桶式基础沉贯过程中的位置偏差,确保各点高差始终小于0.15 m,能有效控制施工过程中产生的累计误差,实现桶式基础精准控制。同时桶式基础实时姿态监测也能减少桶体倾斜偏差的产生,根据桶体高差的变化,实时调整基础沉贯过程中的各项操作和施工参数,降低桶式基础姿态倾斜发生的可能性,当所有方向上的高差均小于0.15 m时,各仓施工参数变化如水泵频率保持在同一范围内,施工参数随时间演化曲线见图6。

表 1 桶式基础安装记录  
Tab. 1 Bucket foundation installation records

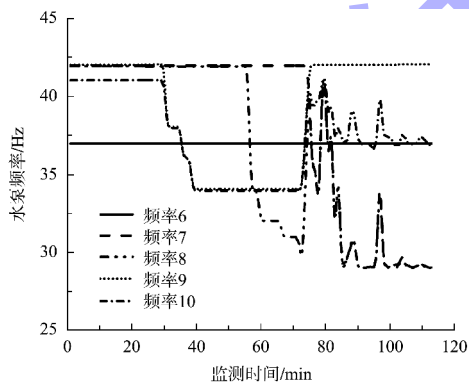
高程/m		贯入			剩余		时间
测点 1	测点 2	测点 3	测点 4	中心点	深度/m	深度/m	
-18.241	-18.322	-18.461	-18.380	-18.351	3.651	10.649	2025-06-24T11:01:44
-20.720	-20.868	-20.924	-20.776	-20.822	6.122	8.178	2025-06-24T12:01:44
-21.850	-21.860	-21.879	-21.869	-21.865	7.165	7.135	2025-06-24T13:01:44
-23.171	-23.280	-23.436	-23.326	-23.303	8.603	5.697	2025-06-24T14:01:44
-24.432	-24.538	-24.722	-24.616	-24.577	9.877	4.423	2025-06-24T15:01:44
-25.673	-25.763	-25.985	-25.894	-25.829	11.129	3.171	2025-06-24T16:01:44
-26.877	-26.970	-27.139	-27.046	-27.008	12.308	1.992	2025-06-24T17:01:44
-27.827	-27.943	-28.100	-27.983	-27.963	13.263	1.037	2025-06-24T18:01:44
-28.118	-28.221	-28.409	-28.305	-28.263	13.563	0.737	2025-06-24T19:01:44



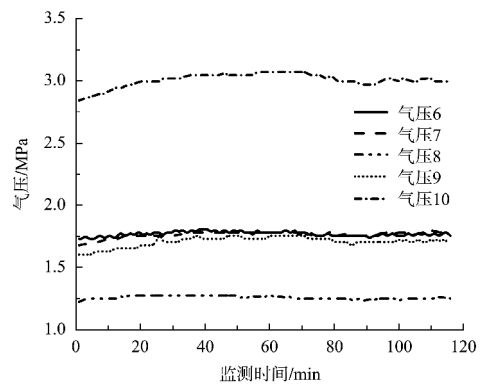
a) 仓1#~仓5#频率变化



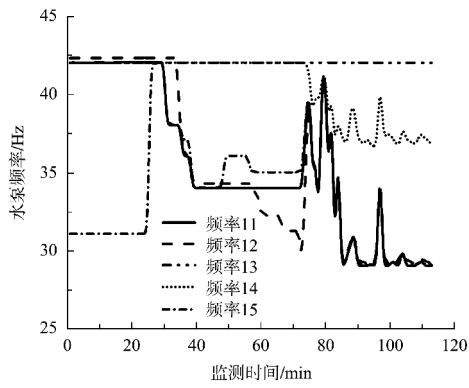
d) 仓1#~仓5#气压变化



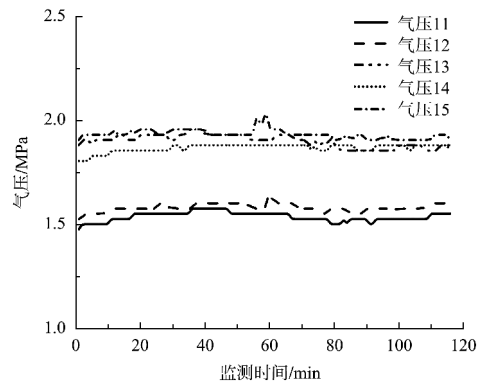
b) 仓6#~仓10#频率变化



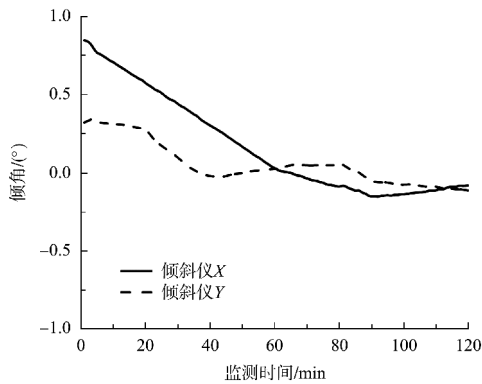
e) 仓6#~仓10#气压变化



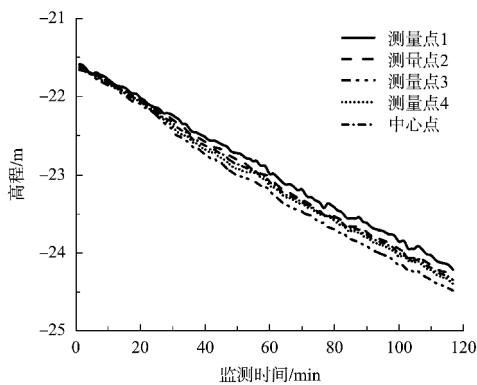
c) 仓11#~仓15#频率变化



f) 仓11#~仓15#气压变化



g) 倾斜仪参数变化



h) 高程变化

图6 参数变化曲线

Fig. 6 Parameter variation curve

#### 4 结语

1) 自动沉贯系统采用以姿态控制为主、压力控制为辅的复合控制模式,通过倾角仪监测桶体姿态,将基础划分为8象限9种状态,并以0.15 m高差作为调平阈值,同时动态监测桶内外压力差以确保桶内土体不发生破坏。

2) 系统控制算法为每个隔仓配置独立的PID控制器,实现“一仓一泵”的精准控制,算法根据实时测量的高差数据,通过调节各仓水泵频率来控制排水流量,使各仓能对姿态偏差进行独立、灵活的响应,有效提升了调平控制的精度与可靠性。

3) 现场应用效果证实,该系统显著提升了施工效率与控制精度,在防波堤工程应用中,自动控制模式下的平均沉贯速度约为1.5 m/h,单台基础施工时长约12 h,较人工模式效率提升显著,

并成功将各监测点高差始终控制在0.15 m以内,保障了沉贯安装全过程平稳与安全。

#### 参考文献:

- [1] TJELTA T I. Geotechnical experience from the installation of the europipe jacket with bucket foundations[C]// Proceedings of Offshore Technology Conference. Houston: [s. n.], 1995.
- [2] 高志伟,李亚,高树飞,等. 徐圩防波堤工程桶式基础结构设计[J]. 水运工程, 2015(2): 224-229.  
GAO Z W, LI Y, GAO S F, et al. Bucket foundation structure design of Xuwei breakwater [J]. Port & waterway engineering, 2015(2): 224-229.
- [3] 陈浩群,李武. 新型结构在连云港港口工程中的应用[J]. 水运工程, 2013(10): 83-88.  
CHEN H Q, LI W. Application of new hydraulic structure in Lianyungang port engineering [J]. Port & waterway engineering, 2013(10): 83-88.
- [4] 程泽坤,夏俊桥. 连云港港徐圩港区桶式基础结构应用技术[J]. 中国港湾建设, 2016, 36(3): 6-11.  
CHENG Z K, XIA J Q. Application of bucket-based structure in Xuwei District of Lianyungang Port [J]. China harbour engineering, 2016, 36(3): 6-11.
- [5] 李增勇,刘晓曦. 桶式基础结构与施工优化[J]. 中国港湾建设, 2019, 39(S1): 58-61.  
LI Z Y, LIU X X. Design and construction optimization for bucket-based structure[J]. China harbour engineering, 2019, 39(S1): 58-61.
- [6] 李武,朱琳. 复合地基桶式基础结构下沉力原位试验研究[J]. 水运工程, 2025(3): 92-95, 108.  
LI W, ZHU L. In-situ experimental study on sinking force of bucket-foundation structure on composite foundation[J]. Port & waterway engineering, 2025(3): 92-95, 108.
- [7] 苗艳遂,李森. 桶式基础吊力增稳沉放技术研究[J]. 施工技术, 2024, 53(13): 99-103.  
MIAO Y S, LI S. Research on lifting force to increase air floating stability of bucket foundation during sinking[J].

- Construction technology, 2024, 53(13): 99-103.
- [8] 李靖, 李森, 滕燕华. 混凝土桶式基础结构沉贯控制技术研究与应[J]. 中国港湾建设, 2025, 45(3): 97-102.  
LI J, LI S, TENG Y H. Research and application of penetration control technology for concrete bucket foundation structure [J]. China harbour engineering, 2025, 45(3): 97-102.
- [9] 刘芝刚, 陈金湖. 新型桶式基础在上海洋山深水港中的应用[J]. 港口航道与近海工程, 2024, 61(6): 109-113, 138.  
LIU Z G, CHEN J H. Application of new bucket foundation in Yangshan Deepwater Port in Shanghai[J]. Port, waterway and offshore engineering, 2024, 61(6): 109-113, 138.
- [10] 郭伟, 李森, 富坤, 等. 桶式基础吸力沉贯试验研究[J]. 太阳能学报, 2023, 44(6): 406-412.  
GUO W, LI S, FU K, et al. Research on suction penetration test of bucket foundation [J]. Acta energiae solaris sinica, 2023, 44(6): 406-412.
- [11] ANDERSEN K H, JEANJEAN P, LUGER D, et al. Centrifuge tests on installation of suction anchors in soft clay[J]. Ocean engineering, 2005, 32(7): 845-863.
- [12] HOULSBY G T, BYRNE B W. Design procedures for installation of suction caissons in clay and other materials [J]. Proceedings of the institution of civil engineers-geotechnical engineering, 2005, 158(2): 75-82.
- [13] 舒方法, 杨安韬, 杨三元. 桶式基础结构负压下沉自动控制系统[J]. 中国港湾建设, 2014, 34(10): 63-65.  
SHU F F, YANG A T, YANG S Y. Automatic control system of bucket foundation structure with negative pressure sinking [J]. China harbour engineering, 2014, 34(10): 63-65.
- [14] 朱儒弟, 辛海英, 高恒庆, 等. 桶形基础平台负压沉贯遥测遥控技术方案设计[J]. 海岸工程, 1999(1): 90-94.  
ZHU R D, XIN H Y, GAO H Q, et al. Technological scheme design for remote detection and telecontrol of suction penetration of bucket foundation of platforms[J]. Coastal engineering, 1999(1): 90-94.
- [15] 刘志安. 桶形基础平台沉贯智能控制系统[J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(4): 31-35.  
LIU Z A. Intelligent control system used for the suction penetration of bucket foundation platform[J]. Journal of oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 2000, 18(4): 31-35.
- [16] 王泉. 桶形基础平台负压沉贯施工中的智能监测与控制系统[J]. 黄渤海海洋, 2000, 18(4): 12-17.  
WANG Q. Intelligent detection and control system used in installing the bucket foundation platform[J]. Journal of oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 2000, 18(4): 12-17.

(本文编辑 赵娟)

## · 消 息 ·

### 行业标准 JTS 309—2026 《船闸启闭机设计规范》正式发布

2026年3月12日,由中交水运规划设计院主编的行业标准 JTS 309—2026《船闸启闭机设计规范》由交通运输部发文颁布。该规范是对2005版规范的全面修订,旨在适应新时代船闸工程大型化、高效化、智能化、绿色化发展需求,进一步提升我国船闸启闭机设计的可靠性、先进性和适用性。

[https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202312/content\\_6918874.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202312/content_6918874.htm) (2026-03-30)