

自升式平台冲桩系统的应用研究

徐 亮¹, 于 洋², 吕文超¹

(1. 江苏航运职业技术学院 轮机工程学院, 江苏 南通 226010; 2. 招商局重工(江苏)有限公司 总装部, 江苏 南通 226116)

摘 要:冲桩系统是自升式平台必备的一套系统,对于自升式平台至关重要,其系统设计方式多种多样,多级高压离心泵是目前冲桩系统设计的主流。通过阐述多级高压离心泵在海工平台上的应用,并与其他形式冲桩系统进行比较,以及多级高压离心泵的星三角启动方式在实际生产建造过程中应用,为后续项目的设计和生产的改良提供参考。

关键词:自升式平台;桩靴;高压离心泵;冲桩

中图分类号:U674.38

文献标志码:A

文章编号:2097-0358(2022)4-0029-05

0 引言

自升式平台在海洋工程领域应用十分广泛,无论是油田开采、风电安装、还是生活支持,到处都能看到其身影,其升降方式、桩腿结构也是多种多样,但无论是何种结构形式,都离不开一套设计优良的冲桩系统作为辅助。由于海底土层的原因,自升式平台在松软的海床上站桩以后,桩腿和桩靴就会入泥,为了抵抗海上的风浪,站桩以后往往还要增加压载将桩腿压实,这样桩腿和桩靴的入泥深度会进一步加深。自升式平台在同一位置作业时间,短则数月,长则数年,海床泥土随着时间的推移逐渐沉降、板结,使桩腿牢牢固定。作业完成以后,移动至下一区域作业时,就需要拔桩拖航。受海上天气、海浪、潮汐的影响,往往拖航的窗口期较短。此时如果拔桩不顺利,会影响拖航时间,甚至还会有严重的安全隐患,所以一套设计优良的冲桩系统就显得十分重要。

1 自升式平台冲桩系统概述

常见的自升式平台桩腿升降方式有电动齿条式、液压插销式和液压齿条式。自升式钻井平台往往采用变频马达驱动的齿条式升降机构^[1];传统的风电安装船和油田辅助平台一般为液压插销式升降机构。三种方式各具特点,虽然桩腿形式各有不同,冲桩管路的布置也有所区别,但桩靴入泥后拔桩的受力基本相同。桩靴拔桩时基本上要克服桩靴下表面的真空吸附力,桩靴侧面和桩腿与土层的摩擦力,桩靴顶部泥土的重力和破坏泥土板结时的剪切力^[2]。拔桩时的受力和泥土形式也有关系,松散的泥土和黏度较大的泥土在拔桩特性上也有所不同。

1.1 冲桩系统常见类型

(1)压缩空气冲桩系统。如图 1 所示,该系统利用空压机为冲桩空气瓶充气,通常充气压力为 3 MPa。空气瓶出口接至冲桩管线,将压力较高的压缩空气送至桩靴底部。

(2)高压水冲桩系统。目前该系统应用非常普遍,在自升式钻井平台上,高压冲桩系统往往与高压泥浆泵相连,由于泥浆泵的工作压力可以高达 7 500 psi,但高压冲桩管线的设计压力往往只有 1 450 psi,约 10 MPa,故在管路上设有安全阀,防止管线压力过高,对管路系统造成伤害。在不带高压泥浆泵的生活辅助平台或者风电安装平台上有另一种高压冲桩系统,其采用多级高压离心泵,为冲桩系统提供所需要的高压,

收稿日期:2021-11-25

基金项目:江苏省高等学校自然科学研究面上项目(21KJD470001);南通市基础科学研究计划项目(JCZ21003);江苏省海洋科技创新项目(JSZRHYKJ202220)

作者简介:徐亮(1983—),男,山东泰安人,江苏航运职业技术学院轮机工程学院讲师,硕士。

如图 2 所示。常见离心泵能达到的冲桩压力约 5 MPa,但也有部分船型运用级数更多的离心泵使其冲桩压力最高可以达到 8~10 MPa。但受离心泵形式的限制,压力越高往往流量越小,有些型号仅有约 45 m³/h 的流量。

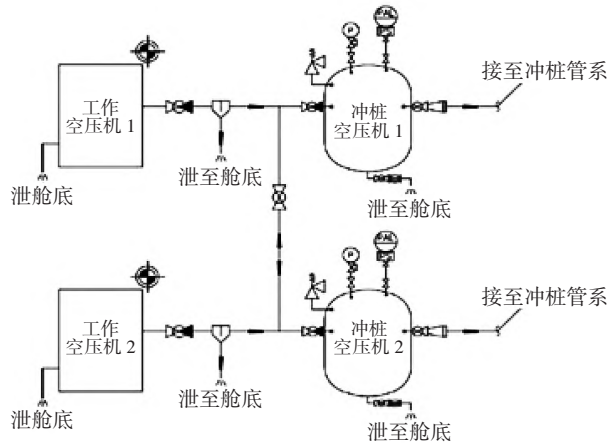


图 1 压缩空气冲桩系统原理

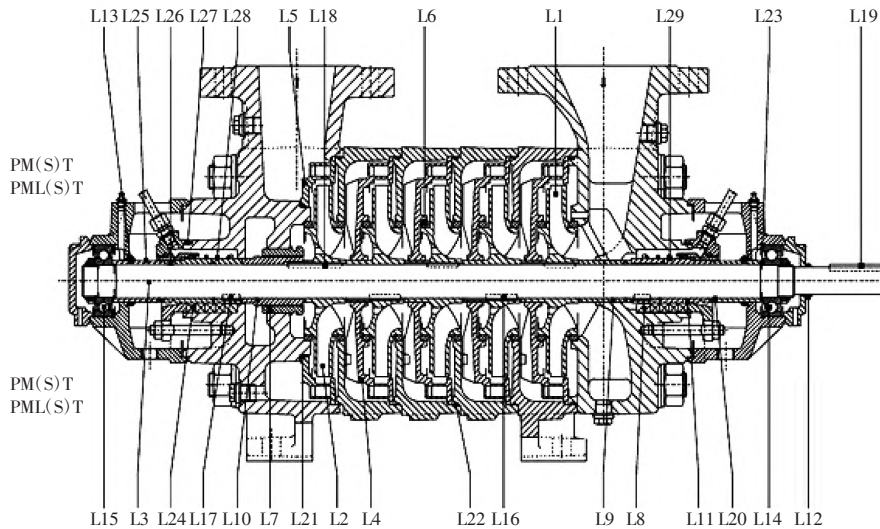


图 2 多级高压离心泵

(3) 压缩空气配合高压水系统。如图 3 所示,利用空压机给冲桩空气瓶打气,空气瓶的出口与高压水同时接至冲桩管路上,利用压缩空气破坏桩靴下部的真空吸附力,利用高压水破坏桩靴上部泥土的板结。

(4) 压缩空气配合低压水系统。此种系统与压缩空气配合高压水类似,但是用消防泵代替了高压冲桩泵,降低了成本,系统更加简单。但由于消防水压力有限,无法应用于作业水深较大、可变载荷较大的情形。使用时先用消防水冲桩,在用压缩空气给管路系统中的水加压。

1.2 各种冲桩类型的比较

针对拔桩时的各种受力,由于空气的可压缩性,压缩空气从桩靴底部喷出以后体积迅速膨胀,对于破坏桩靴底部的真空吸附力效果明显。但是对于桩靴上部的板结土层,压缩空气冲出间隙后迅速扩散,起不到破坏作用。

高压水冲桩则不同,破坏板结的剪切力效果明显。配备高压水冲桩的系统中,常有一路冲桩管路与消防系统相连。高压水泵的特点无论是离心泵还是活塞泵,都有压力高、流量小的特点,在使用中分别对应两种情况。高压水系统针对破坏板结和冲破管路堵塞,给低压水冲出通道。低压水则在通道畅通的情况下,利用其大流量的特点,破坏底部真空,冲刷桩靴上表面的土层。多级高压离心泵由于其流量的限制,用于破坏底部真空吸附效果很差。^[3]

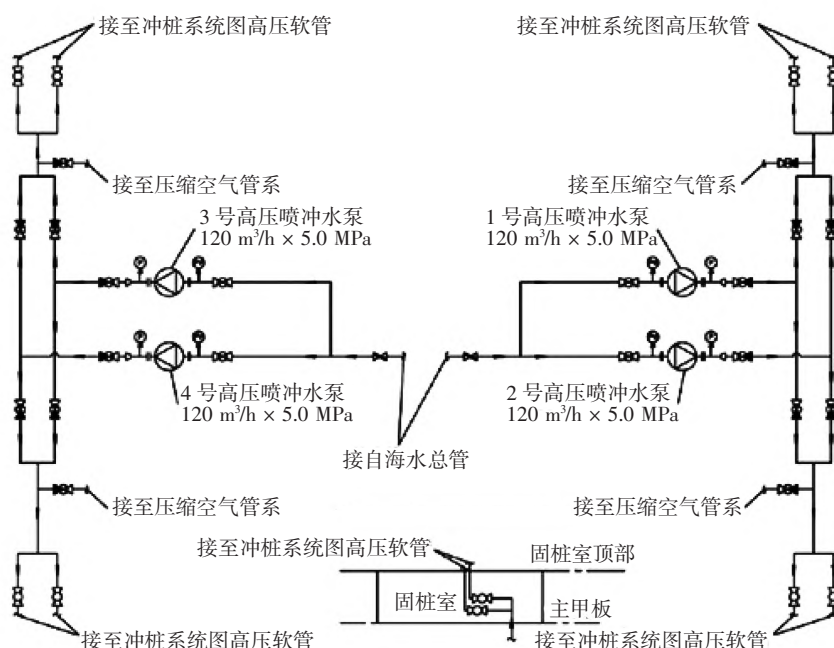


图3 压缩空气配合高压水系统

2 高压水冲桩系统在造船阶段的应用

本文以自升式生活辅助平台 CMHI-181 平台为例, 简要介绍高压水冲桩系统的建造、调试、应用过程。CMHI-181 平台是一艘同时具有自航能力和自升降能力的多功能平台, 由 BESTWAY 完成基本设计, 是该系列的首制船。平台主要用于油田服务、生活支持以及风电安装等功能, 最大作业水深 61 m, 设有可住 200 人的生活区、艏部配有飞机平台。与 NG 系列相似, 均配备了 DP2 动力定位系统。主体结构形式是由一个类似驳船形式的长方形框形船体 (艏部和艉部有少量形线) 以及四个柱腿型桩腿组成 (每个腿由圆筒和齿条组成), 桩腿底部连接桩靴 (桩靴是水密的)。该船冲桩系统由一套高压水系统和一套消防水系统组成, 高压水由一台多级离心泵提供, 工作压力 60 bar, 45 m³/h, 封闭压力 80 bar。^[4] 低压水由泡沫消防泵提供, 工作压力 12 bar, 230 m³/h。

2.1 管路系统的建造

随着桩腿的完工, 其内部的冲桩管也同时完工, 每一条桩腿的冲桩管完工后要对其管路进行试压和吹通, 设计压力 69 bar, 试验压力 104 bar, 保证下水前水下部分管路系统施工完毕。合拢部位由于全部是对接焊, 桩腿顶部在船台上无法吊装的部分, 在车间强度试验完成后, 如图 4、图 5 所示。通过焊缝检验代替密性试验, 完成所有工序的检验, 并做好可查询的记录。

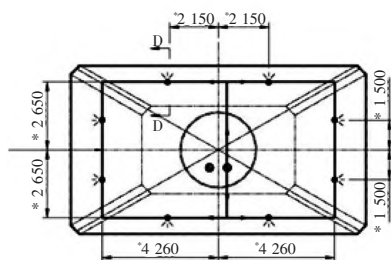


图4 桩靴顶部喷嘴布置图

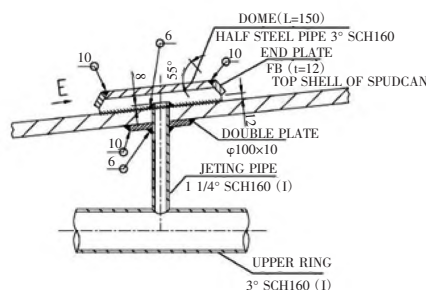


图5 桩靴面喷嘴典型图

2.2 高压冲桩泵的调试

该平台冲桩系统泵采用的是 Caprari 的 PMX50/11Y 额定流量: 45 m³/h 额定扬程: 600 m, 11 级。马达采用的是 Hoyer 的 HMC2-315M, L-2p-B3, 额定功率: 137 kW, 电制: 690 V/3P/60 Hz, 转速: 3 570 rpm, 采用星三角启动方式。

完成多级离心泵的调试准备工作。多级离心泵启动前,首先须注意检查吸口管路和舱室的清洁,造船阶段施工环境复杂,管路和舱室清洁的检查至关重要。多级离心泵由于叶轮和泵壳之间的间隙较小,容易因颗粒物造成泵壳或者叶轮磨损,调试开始之前需要仔细检查。其次确保管路连接的完整。由于其封闭压力可以达到 80 bar,应注意防止因管路连接泄露造成的人身伤害。做好防护工作后点动检查马达转向,注意点动时间不要超过 1 s,确保转向与泵体要求一致。然后启动冲桩泵,测量实际流量,调整调压阀开度使其流量达到 $45 \text{ m}^3/\text{h}$,记录此时的出口压力,运行 10 分钟,停泵,测量各轴承温度。

2.3 试验过程中发现的问题

调试过程中并不是一切顺利,也产生了很多问题。由于该船型是 BESTWAY 设计的首制船,很多设计并不十分成熟。比如高压冲桩系统,第一次使用 11 级卧式离心泵,为了节约成本,启动方式也由原来的变频启动改为了星三角启动。星三角启动带动 11 级卧式离心泵,对电网设置和开关的选择十分重要。实际调试过程中,按照马达图纸资料给出的数据选择电缆和开关并不能满足实际的使用要求,马达本身额定电流 120 A 并不是很大,但是星形接法转换成三角形接法的瞬间电流非常大,以至现有的钳形电流表无法测量。我们测量了马达的实际转速,也和资料相符。后经反复尝试更换了全部保护开关,最终使得该泵可以正常启动。具体原因仍缺乏实际数据支持。

有一个大胆的假设,多级离心泵星三角启动,星形启动以后泵达到额定转速,此时泵的出口端已到达额定扬程,此时出口压力 60~80 bar(半封闭启动),入口压力 -0.5 bar,压差很大。在星形接法转换成三角形接法的瞬间,马达没有扭矩输出,由于多级高压离心泵,如图 6 所示,进出口压差已到达 60 bar 以上,这种压差给离心泵的多级叶轮以反向作用力,导致叶片与转子发生反转的趋势,转速迅速下降,所以造成星三角转换完成的一瞬间仍然产生了巨大的启动电流,甚至超过三角形接法直接启动。

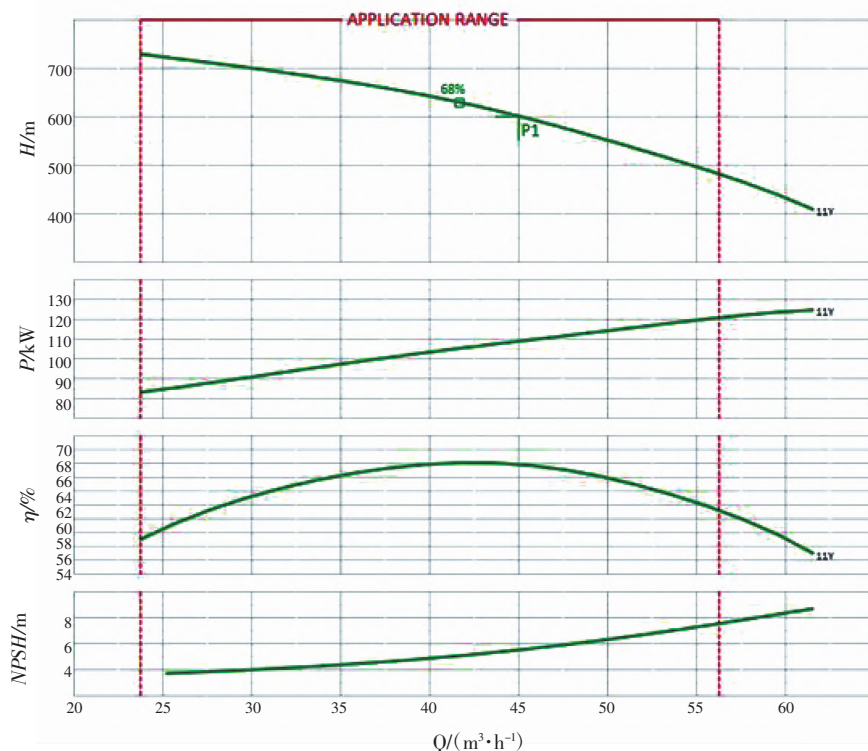


图 6 多级高压离心泵特性曲线

另外,管路系统内部没有设置节流孔板,全靠截止阀开度节流的设计存在缺陷。高压冲桩泵刚启动时,管路内可能没有水,由于截止阀的节流作用有限,在冲桩泵向管路内注水的过程中,没有建立起备压,出口压力几乎为零,根据泵的曲线,此时的马达功率最大,容易造成开关过载。由于流量过大也可能造成泵体的剧烈震动和叶片的气蚀,使泵的使用寿命下降。应该在泵出口管路中设置节流孔板,保持高压冲桩泵在理想的工况内运行。

2.4 拔桩实例分析

该平台自试航结束站桩至正式启动交船之间约有8个月的时间未曾移动,站桩在某公司长江引桥旁。自站桩之日起8个月后准备拔桩拖航,此次拔桩第一次应用该平台上的高压冲桩系统(实际入泥较浅)。由于操作者不清楚实际拔桩流程,在拔桩过程中错误地使用高压和低压冲桩系统,进一步验证之前提到的高低水压不同作用的理论。

1# 桩拔桩时,首先利用高压泵冲洗下桩靴,出口压力没有建立起来,说明桩靴底部已经吹通。冲桩30分钟后,桩靴受力仍没有任何变化,说明底部真空没有被破坏。此时改用250 m³/h的泡沫消防泵冲桩,瞬间桩靴受力就有明显变化,说明底部真空吸附力已被去除。由此说明破除真空吸附力需要大流量的低压水。

4# 桩拔桩时,首先用泡沫消防泵冲洗上桩靴,低压冲桩管出口压力7 bar 流量正常,冲桩30分钟,桩靴受力仍没有任何变化。此时说明底部真空吸附力是此次拔桩主要需要克服的阻力。此时改用低压水冲洗下桩靴,低压冲桩管出口压力显示10 bar,泡沫泵出口压力12.5 bar,接近安全阀的启动压力,明显流量不足。冲桩15分钟后,泡沫泵泵体温度升高,说明低压水并未排出或者排出流量很低,由此可以判断,桩靴底部冲桩管发生了淤堵。此时更换高压冲桩泵进行冲桩。高压泵启动以后,管路压力迅速上升,达到泵的封闭扬程左右时,瞬间泄压,高压泵出口压力变回接近零位,说明冲桩管路的淤堵已经吹通,此时再更换低压水冲桩,冲桩出口压力7 bar,流量正常。此后不久桩靴受力明显变小,说明底部真空吸附力已被破除。

3 结束语

自从自升式平台诞生之日起,完善的拔桩解决方案,一直就是海洋工程行业从业者关心的话题之一。冲桩系统是每一个自升式平台必备的一套系统,对于自升式平台至关重要。其系统设计方式多种多样,多级高压离心泵是目前冲桩系统设计的主流。多级高压离心泵的星三角启动方式,是一种相对廉价的冲桩系统解决方案,但是为了系统达到更好的状态,此种方式存在的问题有待进一步的研究。随着技术的进步和新装备的应用,冲桩系统一定会越来越完善。

参考文献:

- [1] 蒙古彬,曹宇光,张士华.自升式平台齿轮齿条升降系统结构设计[J].机械设计与制造,2013(11):33-35.
- [2] 王懿,臧孟,宋林松,等.双层土中自升式钻井平台桩靴极限拔桩阻力计算新方法[J].中国海上油气,2018(10):137-144.
- [3] 邵夕吾.自升式平台冲桩分析及连续冲桩系统设计[J].船舶物资与市场,2021(3):49-50.
- [4] 沈健,宫小康,罗垒.自升式平台冲桩系统设计及配置分析[J].广东造船,2021(4):31-33.

(责任编辑:张 利)

Applied Study of Pile Punching System for Jack-up Platform

XU Liang¹, YU Yang², LV Wen-chao¹

(1. School of Marine Engineering, Jiangsu Shipping College, Nantong 226010, China;

2. Installation and Commission Department, China Merchants Heavy Industry (Jiangsu) Co., Ltd.,
Nantong 226116, China)

Abstract: The pile punching system is a necessary system for a jack-up platform, and is crucial for the platform. Its system design methods are diverse, and multi-stage high-pressure centrifugal pumps are currently the mainstream of pile punching system design. The application of multi-stage high-pressure centrifugal pumps on offshore platforms is expounded, compared with other forms of pile punching systems, and applied with the star delta startup method of multi-stage high-pressure centrifugal pumps in the actual production and construction process, which provides reference for the design and production improvement of subsequent projects.

Key words: jack-up platform; pile shoe; high-pressure centrifugal pump; pile punching