

文章编号: 1000-7598-(2008) 06-1585-04

多筒系统平台原型顶升试验研究

丁红岩, 张浦阳

(天津大学 建筑工程学院, 天津 300072)

摘 要: 描述了位于渤海辽东湾 93 地区人工岛靠船系统平台原型顶升的试验过程, 系统平台的基础采用三筒结构型式, 这也是我国应用于海洋工程的第一座多筒型基础平台。尽管海上施工对筒型基础沉/拔过程有了一定的经验, 但筒型基础平台在长期使用后的拔出复用还没有任何的工程经验, 此次顶升试验验证了筒型基础平台移动复用的可行性, 利用主要测试结果给出了筒基上拔顶升力的相关分析, 对海上原型结构顶升施工的可行性及筒型基础使用过程中的动态抗拔力的变化具有直接的参考意义。

关 键 词: 多筒基础; 顶升; 原型测试

中图分类号: P 754

文献标识码: A

Prototype tests during pull up processes of a multi-bucket foundation dolphin platform

DING Hong-yan, ZHANG Pu-yang

(School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Two moot dolphin platforms with bucket foundations were installed in JZ9-3 field of the Bohai Sea in 1999. This also was the first time in China to use the multi-bucket foundation to the platform. Though bucket foundation platform has been installed before, there is no experience in pulling up process of the multi-bucket foundation platform after long time use. The reutilization of buckets is proved in the pulling up test. According to the results, the analysis about the pulling up forces is given; and the results have certain effects to guide the construction procedure and the further study about pulling up forces.

Key words: multi-bucket foundation; pull up; prototype tests

1 引 言

筒型基础^[1]是近 20 年来应用于海洋工程的有较好发展前景的基础形式。它可以用来为船只提供系泊力,也可以作为海洋平台等构筑物的基础结构。由于筒型基础施工简便、使用安全可靠、可实现易地复用等特点。与传统的桩结构相比,具有更好的技术经济特性,因而很快得到了海洋工程界的广泛重视,成为一种极可能取代桩结构的新型海上结构设施。

渤海 JZ9-3 油田两座筒型基础系统平台 MDP1 和 MDP2 (如图 1) 是国内首次在海上油田采用的一种新型平台^[2], 为积累并总结工程经验, 以便指导今后的工作, 在两座平台中的 MPD2 安设多种项目的原型测试系统, 长期使用后的原型顶升测试就是其中的一个组成部分。

筒型基础平台长期使用后的拔出复用是筒型基础平台经济优势和技术推广的关键问题。原型顶升试验既可以验证筒型基础可重复利用性, 也可以为平台使用期间筒基抵抗各种荷载的动态抗拔力提供深入研究的数据支持。用来兼作现场测试的 JZ9-3 筒型基础系统平台 MDP2 为一个三筒基础平台 (如图 1), 每个单筒直径为 6 m, 高度为 9 m, 平台总重约为 240 t。

2 试验目的和内容

2.1 试验目的

- (1) 调查研究 MDP2 系统平台倾斜的状况;
- (2) 通过对 MDP2 系统平台的顶升试验, 验证筒型基础平台移动复用的可行性;
- (3) 沉放和调平试验, 增加海上现场筒基调平的工程经验。

收稿日期: 2007-04-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 50079016)。

作者简介: 丁红岩, 男, 1963 年生, 博导, 教授, 主要从事土木及海洋工程结构基础方面的研究。E-mail: dhy_td@163.com

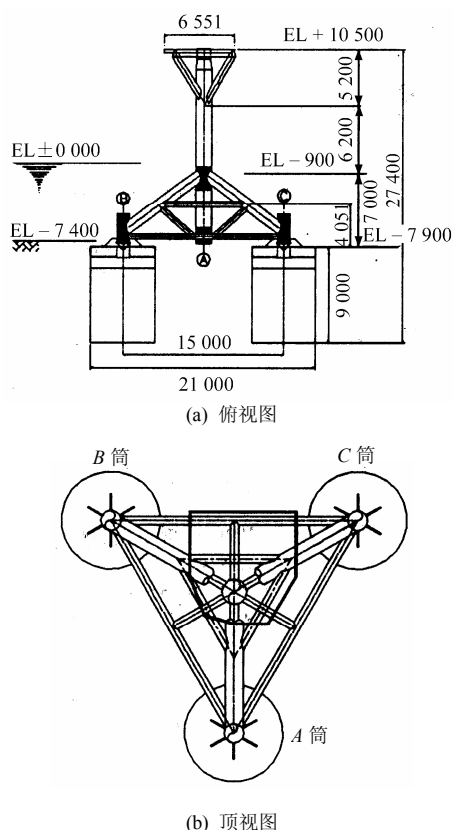


图 1 MDP2 筒型基础系统平台 (单位: mm)
Fig.1 Dolphin platform with bucket foundation (unit: mm)

2.2 试验内容

(1) 试验前的现场准备;

- (2) MDP2 系统平台原有状态测量;
- (3) MDP2 系统平台顶升;
- (4) 消除平台和栈桥之间的内应力;
- (5) MDP2 系统平台沉放和调平;
- (6) 恢复平台和栈桥原状。

3 现场试验

3.1 试验地点及其土质参数

试验现场平面图如图 2 所示。SLPW 平台为生产和工作平台, 中间通过长度为 40 m 的栈桥与 MDP2 系统平台相连接。

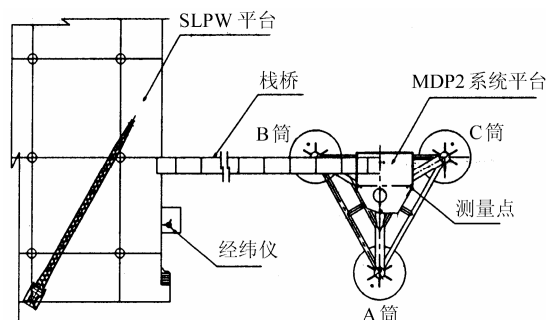


图 2 试验现场平面图
Fig.2 Plane drawing on site

试验点土的代表性参数如表 1 所示。试验主要分为 MDP2 系统平台的顶升阶段、沉放和调平阶段。

表 1 土质参数
Table 1 Parameters of soils

分层 序号	层底高程 / m	天然含 水率 / %	浮重度 / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	比重	压缩系数 $a_{v1.2} / \text{MPa}^{-1}$	压缩模量 E_s / MPa	抗剪强度标准值	
							c / kPa	$\phi / (^{\circ})$
I ₁	-16.00~-16.50	40.6	8.05	2.69	0.662	3.77	10	1.9
I ₂	-19.34~-21.92	29.4	9.48	2.70	0.400	5.41	13	3.5
II ₁	-23.50~-24.82	24.0	10.3	2.69	0.385	5.40	23.5	27.0
II ₂	-27.04 以下未揭穿	25.9	10.3	2.69	0.241	9.15	24.3	36.3

3.2 顶升试验

筒基顶升状态参数主要有: 筒内压力(水压力)、筒顶水位高度(水压力)、筒基上拔高度等参数。现场顶升试验(如图 3)过程中, 采用 3 个注水泵(最大为 0.6 MPa) 分别对 3 个筒提供正压力。注水泵能够提供给平台基础单筒的上拔力(最大)为 16 960 kN, 超过筒壁的最大摩擦阻力理论值 3 656.8 kN^[3], 平台可以顺利上拔。另外, 通过实时测量 3 个筒基不同的上拔深度, 可以计算出整个基础平台沉放过程中结构的倾斜角度等参数。

整个顶升过程持续 8 min, 其中 A 筒泵工作 6 min, 注水量为 4 m³, 筒体顶升高度为 14.2 cm; B 筒泵工作 3.5 min, 注水量为 2.3 m³, 筒体顶升高

度为 8 cm; C 筒泵工作 8 min, 注水量为 5.3 m³, 筒体顶升高度为 18.7 cm。整个过程筒体内压力没有出现突变现象。表 2 给出了筒基内加压过程的一些关键控制点的现场记录。

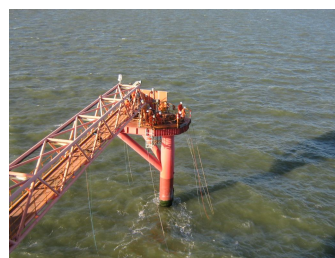


图 3 顶升试验现场
Fig.3 pulling up of buckets on site

表 2 筒内加压主要控制点记录
Table 2 Key records on water pressures in buckets

时间 /s	水压力/MPa			备注
	A 筒	B 筒	C 筒	
15	0.100	0.100	0.100	启动前压力
25	0.145	0.109	0.175	开始顶升
35	0.203	0.125	0.224	A 筒开始位移
235	0.344	0.325	0.335	B 筒泵停
265	0.344	0.251	0.335	A 筒泵停
295	0.212	0.206	0.335	A 筒泵开
415	0.359	0.132	0.350	A 筒泵停
505	0.152	0.111	0.320	C 筒泵停

3.3 沉放和调平试验

MDP2 在顶升过程中, 由于三筒所处的地质条件和受力状态的差异, 造成上拔后出现一定的倾斜, 从监测数据看, 最大高差为 10.7 cm (B 筒比 A 筒低 6.2 cm, B 筒比 C 筒低 10.7 cm)。在沉放调平过程中, 先采用关闭 B 筒的潜水泵的措施, 减少调整高差, 以后下沉过程中, 利用关闭和开启潜水泵的方式调整 A, B, C 三筒的抽水量 (而不是利用设计施工中安装于管路上的阀调节, 因为施工中发现利用开启和关闭潜水泵的方式比利用关闭阀门的方式更迅速和有效), 最终达到调平和沉放的目的。

为了确定 MDP2 系缆平台和栈桥在本次顶升试验前、顶升试验后及再次贯入试验后的标高和水平度, 并为分析系缆平台的倾斜状况提供数据, 分别对 MDP2 系缆平台和栈桥在顶升试验前、顶升试验后及贯入试验后的标高和水平度进行了测量, 实测结果见表 3。

表 3 试验过程中测量数据对照表 (单位: mm)
Table 3 Measuring data during the tests (unit: mm)

时间	系缆平	系缆平台水		高度变化	栈桥水
	台标高	平度/(°)		/ mm	平度
	/ mm	X 轴	Y 轴		/(°)
顶升试验前	10 462	0.104	0.900	低 58	0.085
顶升试验后	10 567	0.042	0.450	高 48	0.071
贯入试验后	10 510	0.224	0.401	低 8	0.012

注: 高度变化指栈桥系缆平台端相对 SLPW 平台端的高度变化。

4 主要数据结果分析

(1) 图 4 给出了筒基顶升试验整个过程顶升力的实时检测图。从图中可以看出, 其顶升力出现了渐升的过程, 而且其增幅时间超过了 3 min。

(2) 如图 4 所示, 235 s 的时刻 B 筒泵停止后, 筒内水压出现缓慢下降过程, 主要是因为栈桥对 B 筒的直接作用力和筒基自重造成的筒基回降现象,

使筒内水压没有立刻释放。

(3) 从图 4 可以看出, 长期使用后 (1999 年~2006 年) 的 3 个筒基的动态抗拔力均超过了 6 000 kN, 最大达到 7 310 kN, 均大于平台沉放时的最大贯入阻力 4 072.83 kN, 也大于上拔试验的最大上拔力 2 702.41 kN, 见图 5 (图中另外两条顶升力曲线为中国造船质量标准 ZC 规范和美国石油协会 API 规范计算结果)。这说明长期使用的筒型基础和筒体周围土体的摩擦系数增大, 有效地增加了筒壁的侧摩阻力。另外, 1999 年系缆平台施工时筒体下沉深度为 8.5 m, 即有 0.5 m 的筒体外露, 此次试验前的潜水作业发现, 由于 MDP2 的位置特殊, 潮水对 SLPW 工作平台的海底冲刷后的泥沙在 MDP2 处造成了堆淤, 使外露的筒体完全被泥土掩埋, 这种特殊现象也是筒基动态抗拔力增长的一个原因。

(4) 理论上, 筒体上拔过程中, 筒基内一旦出现集中渗流, 将使土体结构遭到破坏而形成上拔力突然降低。1999 年 MDP2 系缆平台安装前现场拔起试验过程的实测结果^[3]可以明显看到这种水压突然卸载的现象。但本次试验并没有产生这样的水压力突然释放的现象, 主要因为黏性土中连续渗流的形成需要一定的时间, 渗流减阻效应是在基础拔出一定深度以后才能出现的。

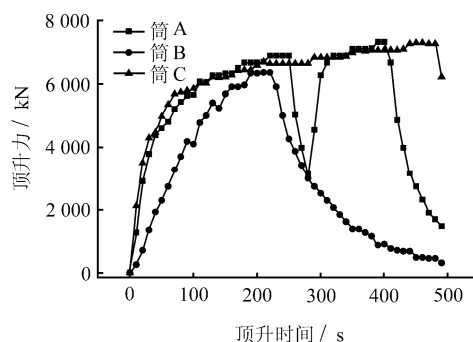


图 4 顶升时间-顶升力关系曲线
Fig.4 Relation curves of time and pulling out forces

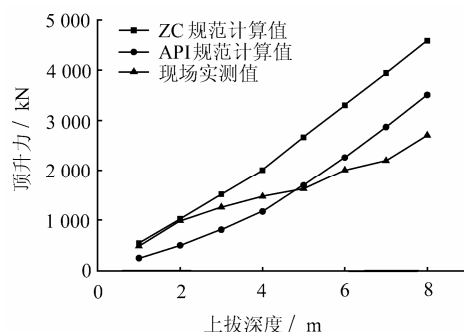


图 5 上拔深度-顶升力关系曲线
Fig.5 Relation curves of depth and pulling out forces

(5) 借助筒基模型调平试验^[4]和现场施工的工程经验, 此次试验通过现场利用开关潜水泵调整筒内抽水量的方式, 有效地对 MDP2 系缆平台进行了纠偏 (见表 3), 验证了筒型基础沉放后和使用过程中调平的可行性。

5 结 语

此次原型顶升的现场试验工作表明, 本次针对筒型基础平台原型顶升试验所采用的测试设备和测试方法是可行的, 得到了迄今为止工程经验尚少的宝贵的筒型基础平台上拔 (移动) 现场数据, 有效地验证了筒型基础移动复用的可行性。

参 考 文 献

- [1] SENPERE D, AUVERGNE G A. SUCTION anchor piles—a proven alternative to driving or drilling[C]// The 14th Annual Offshore Technology Conference. Houston: [s. n.], 1982. 483—493.
- [2] 徐继祖, 史庆增, 宋安, 等. 吸力锚在国内近海工程中的首次应用[J]. 中国海上油气工程, 1995, 7(1): 32—36.
XU Ji-zu, SHI Qing-zeng, SONG An, et al. The first use of suction anchor in China sea [J]. **China Offshore Oil and Gas (Engineering)**, 1995, 7(1): 32—36.
- [3] 丁红岩, 张明, 李铁, 等. 筒型基础系缆平台沉/拔过程侧摩阻力原型测试[J]. 天津大学学报, 2003, 36(1): 53—57.
DING Hong-yan, ZHANG Ming, LI Tie, et al. Full scale tests of skin friction forces during penetration down / pull up processes of a bucket foundation dolphin platform[J]. **Journal of Tianjin University**, 2003, 36(1): 53—57.
- [4] 丁红岩, 王立国, 杜杰. 多筒吸力平台沉放调平模型试验[J]. 岩土力学, 2004, 25(3): 386—390.
DING Hong-yan, WANG Li-guo, DU Jie. The model tests for adjustment of penetration of multi-bucket foundation platform [J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2004, 25(3): 386—390.

水利部科技创新项目“水电工程滑坡灾害评价、预测及防治关键技术研究与实践”成果在武汉通过专家鉴定

水利部科技创新项目“水电工程滑坡灾害评价、预测及防治关键技术研究与实践”成果, 2008 年 4 月 16 日在武汉通过专家鉴定。专家认为: 成果总体上达到国际先进水平, 部分为国际领先。

湖北省科技厅成果处处长王红斌主持鉴定会。长江科学院副院长徐德毅代表项目完成单位到会讲话。

由钱七虎、郑守仁、刘广润 3 位中国工程院院士及 6 位专家组成鉴定委员会。来自总参谋部科学技术研究委员会、长江水利委员会、湖北省国土资源厅、中交第二公路勘测设计研究院、湖北省水利厅、湖北清江水电开发有限公司、国土资源部宜昌地质矿产研究所、中国地质大学、中科院武汉岩土力学研究所等 10 余家单位的领导和专家参加了会议。

本课题结合多年来在三峡库区、清江隔河岩库区等水电工程库坝区典型滑坡问题的勘察设计与科研实践, 着重对水电工程滑坡灾害评价、预测及防治关键技术问题开展了系统研究。长江科学院水利部岩土力学与工程重点实验室副主任邬爱清从 7 个方面介绍了该成果的主要内容和创新点。

在听取了项目成果汇报, 经过讨论与质疑, 专家一致认为: 该项目成果通过对滑坡相关关键技术问题的系统研究, 并经提炼与集成初步形成了一套研究复杂环境和地质条件下滑坡问题的综合分析与评价方法, 具有理论意义和推广应用价值。该项目在滑坡地质特征与力学特性、滑坡变形与稳定性分析方法、滑坡变形监测预报及控制方法以及滑坡防治措施与风险评价等方面取得了系列研究成果。成果总体上达到国际先进水平, 其中滑坡变形与破坏全过程 DDA 模拟、滑坡变形特征的 Si 和 Sf 定量指标评价法等方面为国际领先。

最后, 专家建议: 应进一步加强对复合式阶梯型置换阻滑键法的监测。

(摘自 长江水利科技网)