



# 船载桁架式勘探双平台设计

胡建平, 赵磊

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 针对国内外近海工程水运勘察平台技术的发展趋势, 介绍并分析自降式和船载式两类勘探平台优劣及最新成果。为突破船载式平台实施岩土体原位测试的技术瓶颈, 加快我国近海勘察质量与国际标准接轨, 参与海外市场竞争, 开展了船载式水上原位测试平台稳定性研究。介绍一种最新的船载式固定作业平台设计方案, 使陆域成熟的原位测试项目扩展到水域。

**关键词:** 自升式; 船载式; 勘探平台; 原位测试; 桁架

中图分类号: TV 221.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)06-0045-05

## Design of shipborne truss exploration double platform

HU Jian-ping, ZHAO Lei

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

**Abstract:** In view of the development trend of exploration platform for domestic and abroad offshore engineering, this paper analyzes the advantages and disadvantages of the jack-up and shipborne II exploration platforms and the research results on them. To breaking through the technical bottleneck of geotechnical engineering's in-situ test implemented by the shipborne platform, and accelerate the integration of China's offshore exploration quality with international standards, we carry out a research on the in-situ shipboard platform stability. A new design scheme for the shipboard work platform is presented, which expands the mature in-situ test implemented on the land to the water area.

**Key words:** jack-up; shipborne ; exploration platform; in-situ test; truss

近10年来, 伴随国家经济的高速发展, 我国水运勘察工作覆盖跨海大桥、海上风电、海底隧道、深水码头、海洋战略设施及海外工程等一系列近工程。勘探水域已从我国沿海近岸延伸到公海、专属经济区及境外工程海域; 勘探水深已逼近50 m; 勘探入土深度已突破200 m。海上勘探的核心技术取决于勘探平台的稳固及抵御海况能力, 这决定着勘探、取样、原位测试等作业质量。

本文围绕近海工程勘探平台技术特点及国内外发展趋势, 以我国现有船载式勘探技术为基础, 通过关键技术的突破, 形成一套具有中国特色的近海船载式双平台勘探系统。

## 1 勘探平台发展及特点

### 1.1 自升式平台

由于长期的科技及巨额资金投入, 欧美等国海洋勘察及其设备在技术上已趋于成熟, 许多产品实现了商品化, 如业内著名的英国海洋科学研究所 (IOS), 国际海底工程有限公司 (ISE), 荷兰范登堡公司 (AP vd Berg) 和辉固国际集团 (Fugro) 等, 其中辉固 (Fugro) 的自升式勘探平台 (Jack-up)、海床静力触探 (Seabed CPT) 等最为我国水运勘察界熟知。欧美仰仗着核心技术的垄断, 渐已形成一套以自升式勘探平台为核心的

收稿日期: 2013-10-21

作者简介: 胡建平 (1956—), 男, 教授级高工, 主要从事岩土工程勘察新技术开发和管理。

一揽子解决方案<sup>[1-6]</sup>，因参照执行国际 ASTM 等标准，故被国际咨工界认可，形成事实上的国际标准模式。但自升式勘探平台在我国近海勘察中却很少应用，主要原因如下：

1) 建造平台需要高投入、高风险、高维护成本及大型工程的支持；国内外勘探收费的巨大差异性使得一般企业难以承受。

2) 平台搭建、移动等需较多的辅助设施支持，进一步加重了勘探成本。为避免风、浪、涌等环境因素影响作业平台的稳定性，桩腿需预压及调整，故勘探作业时间较之更长。

3) 核心部件研发及制造等核心技术为国外厂商拥有，更难降低勘探成本。

## 1.2 船载式平台

我国近海勘察通常在机动船或驳船上搭建勘探平台，船舶分为自航与非自航式，选用自航式居多；按船型分布平台，有端部或舷侧等，以单船舷侧居多。船舶拥有不同的载荷能力和抗风浪标准，排水量从数十吨到千吨不等，根据水深、海况、勘察技术要求，直接租用相应规格的船舶进行平台组装，因而能以最快的速度投入勘探。其特点是灵活、移位快、经济，并能适应不同水域、水深、环境等近海勘察作业，为此各类风格各异形式多样的船载式勘探平台在我国得以迅速发展。钮建定、胡建平在文献<sup>[7-8]</sup>中详细介绍了一种船载式勘探平台系统<sup>[9]</sup>及其在洋山深水港等一系列大中型工程中应用的案例。该系统采用模块化设计、拼装式组装、三钻机混合钻进法等<sup>[10]</sup>，作业水深 0~50 m，7 级海况标准，从而把中国特色的船载式勘探平台技术推向了高潮。

由于船载式勘探平台勘探综合成本远低于自升式勘探平台，故其成为中国水运工程勘察的主流。但它的弱点也很明显，主要表现在平台稳定性方面，尤其是船载平台的上下浮动，给依托静态作业的原位测试带来困难，测试质量难以达到国际标准，严重阻碍了我国企业海外战略的实施，降低了国际竞争力。由此我们提出了船载式静态平台的设想。

## 2 船载式静态平台设计

原位测试是指在勘察现场，采用原位测试设备对岩土层现场进行测试，获得地基土层强度等指标。原位测试比传统的钻探、取样、室内试验模式更安全、经济、可靠。一些重大工程如海底隧道、海上发电、跨海大桥等，尤其是境外工程，设计人员更青睐于现场原位测试提供的地基土固结、渗透、灵敏度、抗剪强度等参数，用来划分土层，确定建筑物地基土的承载力等。因此原位测试已成为不可缺少的一种勘探手段。

原位测试在陆域实施已非常成熟，但在海（水）上必须依托一个稳固的静态作业平台，若采用桩基或自升式平台则成本昂贵。水域原位测试存在的问题长期困扰着我国水运勘察业。

### 2.1 设计原理

在船载式勘探平台上再设计一个静态桁架组合嵌入式原位测试平台，并使原位测试平台竖立在海床泥面上，与船载勘探平台脱离，形成动、静双作业平台，从而使陆域成熟的原位测试扩展到近海水域，设计模型如图 1 所示。

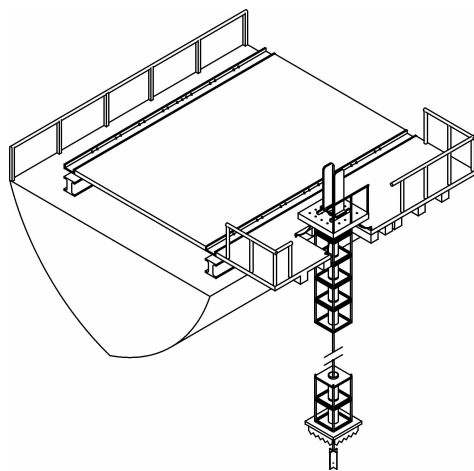


图 1 船载式静态平台设计

### 2.2 设计方案

一种船载桁架组合式原位测试平台包括以下部分：1) 桁架承重架，由多个桁架模块上下串联而成；作业平台，固定在桁架承重架的上端，作业平台上设有用于安装原位测试装置的机架座；2) 桩靴，固定在桁架承重架的下端，桩靴的底部

设有靴齿; 3) 导管, 沿上下方向依次贯穿作业平台、桁架承重架和桩靴; 4) 扶正装置, 包括多根软绳, 软绳的一端与桁架承重架的上端或作业平台相连接。

### 2.2.1 原位测试平台

原位测试平台的稳定是确保水域勘探现场实施静力触探 (CPT)、十字板 (VANE) 等岩土体原位试验的基石。在原位测试平台上, 根据测试项目安装对应的原位测试装置, 如静力触探仪、十字板仪等。平台上设有机架座, 机架座与作业平台上的机架连接孔连接, 从而使原位测试装置固定在作业平台上, 作业平台的四周可以围上 1~4 面栏杆, 确保作业人员的安全。机架连接孔分布排列在作业平台上, 用以固定测试装置, 机架连接孔按上述常用原位测试装置的机架座尺寸设计, 不同的机架座对应不同位置的机架连接孔。

平台下方设计了一套扶正装置, 包括锚桩、软绳、滑轮环、滑轮和滑轮轴, 4 个滑轮轴分别垂直固定在作业平台的底部, 并分别位于前后左右 4 个方向。相应地, 4 个锚桩也按 4 个方向固定在船载勘探平台上, 滑轮可转动地安装在滑轮轴上, 滑轮上设有滑轮环, 4 根软绳的一端设有快速钩, 快速钩挂接在滑轮环上, 软绳的另一端分别缠绕在所述锚桩上。软绳是指具有一定柔性并能承受拉力的绳索, 可以由纤维材料或金属材料制成 (图 2)。

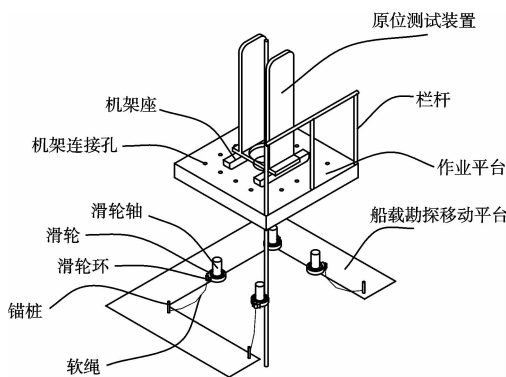


图 2 原位测试作业平台与船载平台软连接

在安装过程中, 原位测试平台竖立到海 (河) 床泥面, 必须保持垂直状态, 当发生倾斜时需调整, 通过收放各根软绳, 使之处于竖直状态。在

原位测试作业过程中, 放松软绳, 并使软绳另一端缠绕在船载勘探平台的 4 个锚桩上, 从而使原位测试平台脱离船载勘探平台而处于静态, 并使整个原位测试平台处于受控状态。

### 2.2.2 桁架模块

单桁架模块组合形成单桩腿方式, 根据海况水深, 决定桁架桩腿高度, 确保原位测试平台上测试项目正常进行, 并将平台所受的载荷传递给海底泥面。采用桁架镂空式结构可大幅减少平台结构质量和波流载荷, 降低制造成本。设计中考虑到平台自重及水中浮力及波浪影响, 根据需要可增加若干块加重桁架模块来增加反力值。

桁架模块具有统一大小的标准尺寸, 每个桁架模块都是由横梁、竖梁、上架板和下架板焊接而成的长方体框架结构, 桁架模块上还焊接有吊耳。其中竖梁为空心柱, 下架板对应于竖梁下端的位置开有 4 个定位孔, 上架板对应于竖梁上端的位置上焊有 4 个定位销, 上下 2 个相邻的桁架模块之间组装时, 定位销穿入另一个桁架模块的定位孔内, 使相邻两个桁架模块定位对齐, 然后由螺栓穿过上架板和下架板上的连接孔, 使相邻 2 个桁架模块连接在一起。桁架模块与原位作业平台之间以及桁架模块与桩靴之间也通过螺栓可拆卸连接。

导管由多个导管段通过接箍密封连接而成, 每个桁架模块内都焊接有一个导管段, 接箍内设有凹槽, 凹槽内设有密封环, 可以使相邻的 2 个导管段密封连接 (图 3)。

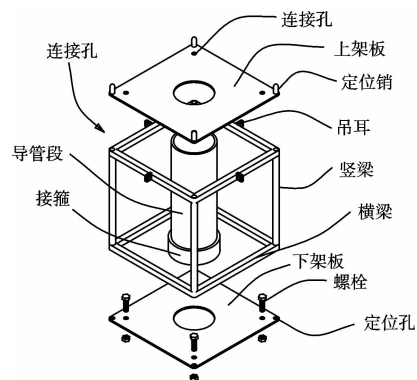


图 3 桁架模块连接

### 2.2.3 桩靴

原位测试平台桩靴贯入深度过大会造成海床上部岩土体扰动；桩靴拔桩困难。贯入深度过浅易造成平台滑动。

桩靴包括承压板和靴齿条，靴齿条从承压板的底面向下延伸，靴齿条的下端设有靴齿。承压板用于与海（河）床泥面接触，为原位测试平台提供支撑，承压板底部的4根靴齿条围成矩形，可以为十字板剪切试验提供抗扭力。与桩靴相连接的桁架模块可以采用加重桁架模块，加重桁架模块采用加厚的上架板、下架板和横梁，可以为复杂土层、深孔原位静力触探提供适当的反力（图4）。

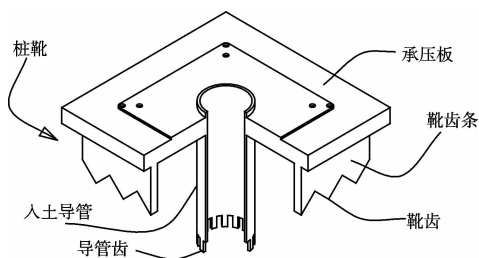


图4 桩靴设计

导管的最下面一段导管段为入土导管，入土导管焊接在桩靴上，入土导管的末端设有导管齿。导管段和入土导管相互连接，形成一根长导管，整个导管从作业平台一直延伸至海（水）床泥面，可以避免穿设在导管内的原位测试钻杆受激流冲击而弯曲，影响试验数据。对复杂地形，如砂、砾层需采用泥浆清孔护壁，由于导管密闭设计，确保了泥浆循环。

### 2.3 实施

船载平台勘探作业船在现场锚定后，根据原位测试项目及入土深度，在船载勘探平台上，开始桩靴与桁架模块的连接固定，然后吊入船载勘探平台单侧，根据水深逐个组装桁架模块。组装过程中，吊绳挂钩吊耳，吊起一个桁架模块，对准下方桁架模块上的定位销然后放下，把螺栓穿过上架板和下架板上的连接孔，与螺帽旋紧连接（图5）。吊起若干个已连接成一体的桁架模块，

移去支撑活动梁，放下桁架模块，然后重新插上支撑活动梁，再重复这一过程，直到桩靴插入海床泥面，再安装上部原位测试平台，自此一个桁架模块单桩腿式固定平台逐渐形成。拆卸与安装过程类似，不再叙述。

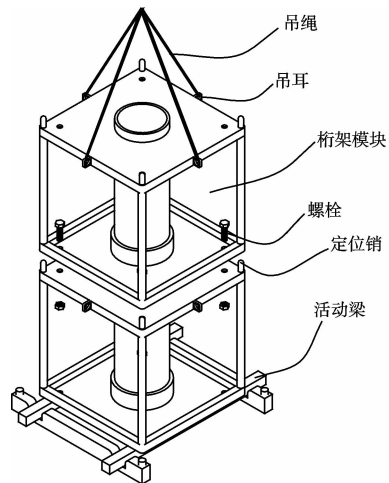


图5 桁架模块装卸

### 2.4 设计目标

1) 原位测试平台竖于船载勘探平台单侧，并与船载勘探平台脱开，不受船载勘探平台晃动影响，与船载勘探平台形成动、静双平台作业方式，实现了双平台间各类资源共享。

2) 原位测试平台内设有导管，使静态作业平台至海（河）床泥面间形成保护层，并使穿过导管的钻杆免受水中激流冲击而影响测试数据的准确性。

3) 原位测试平台采用模块化结构，成本低，便于贮存及运输，且各模块现场组装或拆卸，无需其他辅助船泊、浮吊等支持，大幅降低勘察成本。

4) 原位测试平台桁架承重架质量及桩靴结构满足了静力触探、十字板剪切试验所需的反力或扭力，及各类复杂地层孔、深孔原位试验需求。

### 3 结语

本文充分展现了一种船载静态平台实现近海水域原位测试新颖设计方案，有望填补船载式勘

探平台原位测试的空白。方案自始至终贯穿了稳、快、省的创新思想, 表现在:

1) 稳: 原位测试平台稳定, 使陆域成熟的原位测试项目扩展到水域, 勘察质量达到国际标准。

2) 快: 孔间移动快, 作业时间短, 提高了效率, 具有显著的低成本优势及市场竞争力。

3) 省: 船载式动和静双平台设计, 既能开展常规勘探, 又能实施水域原位测试, 达到一船多能, 实现效益最大化。

任何一项科学技术从萌芽到成熟应用, 都不是一蹴而就的, 须通过实践检验与完善, 船载式勘探平台技术也是如此, 望能通过创新及行业同仁进一步完善, 使中国特色船载式勘探平台为提升勘察质量, 满足国际标准, 参与海外市场竞争做出贡献。

#### 参考文献:

- [1] 马志良, 罗德涛. 近海移动式平台[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [2] 罗宏志, 蒙占彬. 国内深水自升式钻井平台发展概况[J]. 中国海洋平台, 2010, 25(4): 4-7.
- [3] 孙东昌, 潘斌. 海洋自升式移动平台设计与研究[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2008.
- [4] 张用德, 袁学强. 我国海洋钻井平台发展现状与趋势[J]. 石油矿场机械, 2008, 37(9): 14-17.
- [5] 黄悦华, 任克忍. 我国海洋石油钻井平台现状与技术发展分析[J]. 石油机械, 2007, 35(9): 157-160.
- [6] 汪张棠, 赵建亭. 我国自升式钻井平台的发展与前景[J]. 中国海洋平台, 2008, 23(4): 8-13.
- [7] 钮建定, 胡建平. 自航式水上移动平台关键技术[J]. 中国港湾建设, 2012(6): 19-21.
- [8] 胡建平, 冯蓓蕾. 洋山深水港区工程海上勘探关键技术实施[J]. 海洋工程, 2012, 30(3): 164-169.
- [9] 钮建定, 成利民, 胡建平, 等. 单侧悬臂式水上勘探平台系统: 中国, L200910194680. 4[P]. 2012-05-30.
- [10] 钮建定, 胡建平. 单侧悬臂浮船式勘探平台系统设计[C]//中国水运建设行业协会. 水运工程勘察设计创新方法论文集, 2013: 161-165.

(本文编辑 郭雪珍)

## · 消 息 ·

### 世界最大闸门首段完工

近日, 由振华重工承建的比利时闸门项目首个分段完工, 一次性报验合格率达 98.8%。

该项目于 2013 年 9 月开工, 项目包括 4 座闸门和 2 座开启混合钢桥, 钢结构总重约 11 700 t。闸门内部结构复杂, 建造难度极大, 且检测手段复杂。项目部将每座闸门分 5 大分段进行建造, 车间建造后转运至外场进行无余量拼装, 届时, 其约 18 900 m<sup>3</sup> 的体积将成为振华重工成立以来建造的单个体积最大钢结构产品。

该闸门位于比利时最大海港安特卫普港附近, 长 70 m, 高 27.4 m, 宽 10.4 m, 建成后将成为世界最大闸门, 这也是振华重工首个水利水电钢结构项目。

(来源: 振华重工)