

# 深水导管架滑移装船结构应力分析研究

王大忠

山东电力工程咨询院有限公司

DOI:10.12238/hwr.v8i3.5229

**[摘要]** 随着深海油气开采技术逐渐成熟,海洋油气作业领域由浅海向深海迈进,导管架和上部组块建造规模朝着更大、更重、更复杂的方向发展。由于大型结构物重量大,常规的海上浮吊已对其无能为力,而大型浮吊资源紧张,有时甚至一船难求,费用不菲,且大型浮吊对海况和天气条件比较敏感,由此,大型结构物滑移装船技术应运而生。深水导管架滑移装船技术是指导管架在陆地建造完成后,利用牵引系统将导管架牵引至驳船甲板,期间通过调节驳船的压载水舱,动态调整驳船的姿态,以保证结构物安全顺利的转移至驳船上。本文应用SACS软件,模拟深水导管架滑移装船过程,对导管架进行结构应力分析,供今后类似工程项目借鉴。

**[关键词]** 深水导管架; 滑移装船; SACS; 应力分析

**中图分类号:** TN814 **文献标识码:** A

Stress analysis and research on the sliding ship loading structure of deep-water jacket

Dazhong Wang

Shandong Electric Power Engineering Consulting Institute Co., LTD

**[Abstract]** With the gradual maturity of deep-sea oil and gas exploitation technology, the offshore oil and gas operations are moving from shallow sea to deep sea, and the construction scale of jacket and upper block is developing towards a larger, heavier and more complex direction. Due to the large weight of large structures, the conventional offshore floating crane has been powerless for it, while the large floating crane resources are tight, sometimes even a ship is difficult to find, and the cost is high. Moreover, the large floating crane is sensitive to sea conditions and weather conditions, so the sliding loading technology of large structures arises at the right moment. The sliding loading technology is to use the traction system to pull the jacket to the barge deck after the construction of the barge by adjusting the ballast tank of the barge to ensure the safe and smooth transfer of the structure to the barge. In this paper, SACS software is applied to simulate the sliding loading process of deep water jacket and conduct the structural stress analysis for similar engineering projects in the future.

**[Key words]** deep water jacket; slip load ship; SACS; stress analysis

## 引言

随着世界经济的高速发展,人类对油气资源的需求日益增高,仅仅依靠陆地石油的开采已不能满足社会发展的需要。于是人类将目光投向了广袤的海洋,海洋成为油气资源开采的又一重要领地。自1967年我国在渤海湾打出第一口油井以来,海洋石油开采技术得到了快速发展,其中,滑移装船技术近年来在国内得到广泛应用,该技术是海洋石油开采的一项关键技术,通过代替传统的浮吊施工作业方法,能够降低作业成本,提高作业安全性<sup>[1]</sup>。下面本文就结合工程实例,对深水导管架滑移装船计算方法进行详细说明。

## 1 滑移装船技术概述

自上世纪70年代以来,深海油气开采技术逐渐成熟,海洋油气作业领域由浅海向深海迈进。随着水深的增加,愈加恶劣的海洋环境给海洋平台结构物带来了新的挑战,导管架和上部组块建造规模朝着更大、更重、更复杂的方向发展。面对如此庞然大物,运用海上船舶运输是将这些庞然大物运输到工作海域的唯一方式,而如何把结构物从陆地转移到驳船上整个运输过程极其重要的一个环节。由于大型结构物重量大,常规的海上浮吊已对其无能为力,而大型浮吊资源紧张,有时甚至一船难求,费用不菲,且大型浮吊对海况和天气条件比较敏感,在不适应的气象和海况条件下不能进行作业,只能等待合适的窗口期,不仅耽误了工期,还增加了费用。由此,大型结构物滑移装船技术应

运而生。该技术取代了传统采用浮吊的施工方法,大幅度地降低了成本<sup>[2]</sup>。

滑移装船技术是在船舶配载技术的基础上,利用绞车、拉力千斤顶等将结构物缓慢平稳的推拉牵引到驳船上,通过调节驳船压载水舱的压载水量,动态调整船舶姿态,以保证结构物顺利滑移至驳船上。与传统浮吊相比,采用滑移装船节省了工期,降低了作业成本,近年来在国内取得了广泛应用,比如埕岛油田中心三号平台, SZ36-1平台等大型结构物的安装都采用了滑移装船技术。

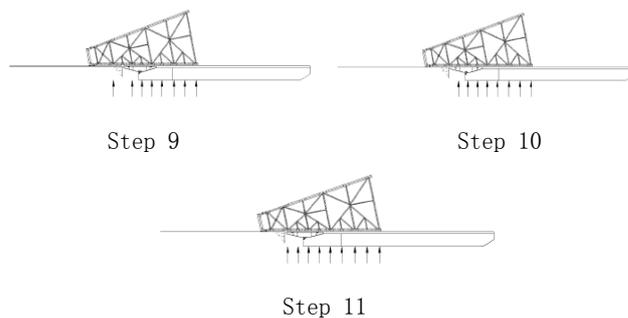
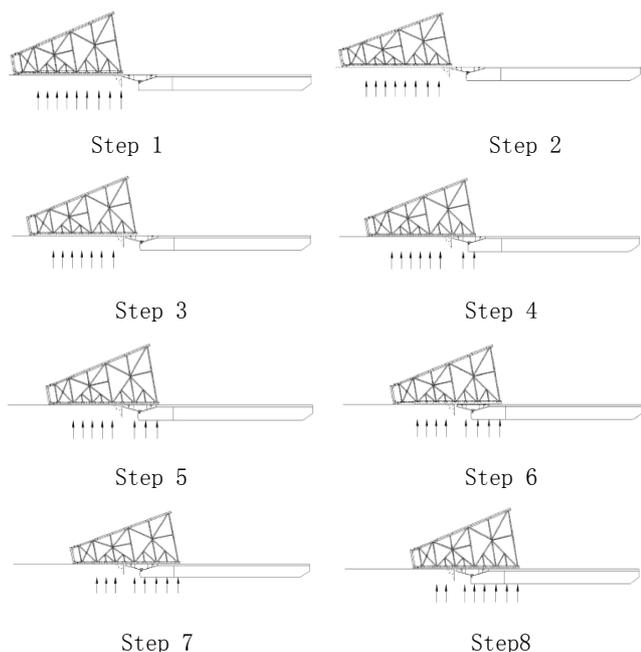
## 2 导管架滑移装船的形式

目前,导管架滑移装船的形式主要有卧式和立式两种,其中卧式有两种,分别为横向卧式和纵向卧式。对具有两条互相平行的主构件,可在结构底部安装连续滑靴的导管架,通常可采用纵向卧式滑移装船。纵向卧式滑移装船的特点是整体重心低,滑移较为平稳,安全性优;如果导管架不具备两条平行的构件,可根据其结构形式,单独设计多个独立的滑靴,采用横向卧式或立式滑移装船,但横向卧式与纵向卧式相比,其滑靴数量少,荷载转移快,平衡调整困难,需严格控制好驳船与码头间的水平度;立式滑移装船的特点是重心高,荷载较为集中,驳船调载时要快速,需严格控制导管架倾斜度,以保证导管架的稳定性。

## 3 滑移装船步骤

导管架在建造场地建造完成后,通过液压绞车牵引导管架,沿滑轨缓慢移动至码头边沿(或直接在码头边沿建造,建造完成后直接滑移至驳船上)。驳船提前停靠就位位于导管架滑移装船处,通过调节驳船压载水舱的压载水量,调整驳船姿态,直至驳船上滑轨与陆地码头滑轨平齐,待各项准备工作准备就绪后,开始滑移装船。为了便于分析,导管架主腿(下水桁架)和撑杆之间设计了支撑点,支撑点共9个,从导管架顶部向底部依次命名。

导管架滑移装船共分11步,具体步骤如下:



在滑移装船过程中,需综合考虑码头地面强度、导管架的结构强度及驳船调载快慢等因素,合理设计牵引速度、停顿点及停顿间隔,避免拖拉过程中驳船船尾突然上翘和下落等情况。滑移装船过程中需特别注意导管架刚开始上船、滑靴过摇臂旋转中心后荷载开始向驳船转移、导管架荷载完全转移到驳船及导管架就位等典型装船步骤。<sup>[3]</sup>经过以上步骤,导管架由码头滑移至驳船上,经过绑扎固定后,即可选择合适的海况出海,实施下一步安装工作。

考虑到装船过程中驳船与码头滑道平面的高度差会对导管架结构、驳船及码头等结构强度带来很大影响,以及导管架滑移通过码头边沿与摇臂之间的间隙时导致支撑点悬空而失去支撑力,从导致构件传力发生变化,所以需要装船阶段进行细致的强度结构分析。通过计算软件模拟滑移装船过程中各种不利的受力工况,准确计算导管架受力,保证滑移装船过程的安全性。

## 4 导管架模型介绍

选取计算模型为某海域8腿导管架平台,8根导管均为单倾。所处海域水深103m。该导管架包含四根主导管架腿,每根主导管架腿连接三个裙桩套筒(共12桩);共设5层水平层,水平层标高分别为: 11.0m, -9.0m, -30.0m, -52.0m, -75.0m, -103.0m。导管架总高度112.5m,工作点标高为11.50m。导管架总重量12000t。

为节约工期,滑移装船计算分析模型不需重建,可以通过修改在位分析的结构模型而得来。我们只需去掉在位分析模型中包含的风、浪、流、地震等与其在位分析相关的荷载工况,并删除上部组块,隔水管和一些无关的附属设施,通过计算程序将计算模型节点坐标旋转,就得到了滑移装船分析所需要的计算模型。

在滑移装船结构分析中,导管架下面的每一个支撑只提供垂向支撑力,不需模拟滑靴。为了模拟导管架与支撑杆顶部之间的偏心,本计算模型在支撑点位置增加了刚性单元(GAP单元)。

计算模型三维图见图3-1:

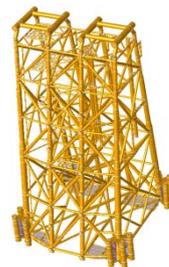


图3-1 计算模型三维图

## 5 结构分析

### 5.1 荷载

#### 5.1.1 导管架自重

导管架的结构自重包括导管架主结构和附属结构(阳极块、卡桩器、防尘板等)重量,通过对计算模型重量乘上一个系数(主结构和附属结构分别取1.03和1.05),以及通过增加节点荷载和杆件荷载来模拟护管、立管和滑移装船辅助装置等重量得到的。如有必要,可通过在导管架末端增加力偶来调整重心位置。

#### 5.1.2 滑道摩擦力

在滑移装船过程中,导管架与滑道之间采取了润滑措施,但仍存在摩擦力,该摩擦力在计算中不能被忽视,可以在计算出整体摩擦力后,按一定比例分配至各个支撑点上。

在导管架滑移过程中,很难做到完全匀速行进,不可避免的会出现加速或减速的情况,但此种工况较复杂,此时需要简化计算,只需在导管架牵引点施加拉力,核算导管架的受力情况即可。

#### 5.1.3 滑道不平因素

船舶在压载调整姿态的过程中,可能会存在一定滞后效应,也可能存在其它不可预知的情况,使导管架位于船上的部分和位于码头的部分不在同一水平线上,从而产生相对位移。假定支撑点在其所在水平面上下偏移位移在(+/-)25mm之间,另外,当支撑点位于从码头到摇臂之间的间隙(假定为2m)时,支撑点是失效的。当导管架通过了摇臂的旋转中心,整个旋转臂就能为导管架提供竖向支撑。

#### 5.1.4 基本荷载工况

结构分析中使用的基本荷载工况包括:主结构重量(模型重量)、附属结构重量、施加在滑靴上的力以及由给定位移产生的力。

#### 5.1.5 荷载组合

结构分析中至少要考虑下列情况的荷载组合:

a. 全部支撑点支撑状态。b. 启动状态:导管架由全部支撑点支撑,拖拉力作用在拖点所在的一对支撑上。c. 不平衡拖拉状态:导管架由全部支撑点支撑,拖拉力仅作用在一侧拖点所在的支撑上。d. 部分支撑点悬空状态:导管架滑移过程中,首先第9支撑点悬空,紧接着第9、8支撑点同时悬空,随后第7到第1支撑点依次独立悬空,此过程中考虑并排的一对支撑点同时失去支

撑,无拖拉力。e. 部分支撑点悬空状态+船上支撑点向上偏移位移25mm:导管架滑移过程中,因船舶压载的滞后或其它意外因素,使船上支撑点标高比码头支撑点高25mm,位于摇臂和码头间隙处的支撑点悬空,共有7个工况,按照滑移顺序进行排序组合。f. 部分支撑点悬空状态+船上支撑点向下偏移位移25mm:导管架滑移过程中,因船舶压载过快或其它意外因素,使船上支撑点标高比码头部分低25mm,位于摇臂和码头间隙处的支撑点悬空,共有7个工况,按照滑移顺序进行排序组合。

### 5.2 计算分析结果

通过SACS软件static analysis with gap elements模块进行计算分析,得出如下计算结果:

杆件应力比大于0.9的杆件共6根,最大应力比0.981;节点冲剪应力比大于0.95的节点共20处,对冲剪应力比大于1.0的节点进行加强环设计。

计算结果显示,滑移装船过程中,导管架所有杆件应力比满足要求,部分节点冲剪应力比不满足要求,但可通过增设加强环来解决,滑移装船过程是安全的。

## 6 结束语

海底蕴藏着极其丰富的石油资源。据国际能源署估计,全球油气资源量三分之一位于海洋。另据美国石油地质学家估计,世界上光是水深300米以内的海底就有约1000亿吨的原油、500亿吨的二次可采原油以及300亿吨的重质原油。随着陆地油气资源开发难度加大,海洋油气资源在未来会越来越得到重视。导管架等海上构筑物会日渐庞大,超大型结构物滑移装船方法在未来是一种趋势。本文通过对某海域导管架滑移装船步骤及强度计算方法介绍,为今后同类工程实施提供借鉴。

### [参考文献]

[1]张伟.大型结构物滑移装船过程仿真研究[D].天津大学,2006.

[2]么子云.大型结构物滑移装船技术的研究[D].天津大学,2004.

[3]李新超.超大型导管架滑移装船方法研究[D].中国水运,2013.

### 作者简介:

王大忠(1982--),男,汉族,山东青岛市即墨人,本科,工程师,研究方向:海洋工程。