

2000, 19(1)
1-7

①

第19卷第1期

海岸工程

2000年3月

文章编号:1002-3682(2000)01-0001-07

埕岛油田海底管道安装应力计算方法的研究及应用

TE973.11

夏荣聪、侯 强

(胜利石油管理局海洋石油开发公司, 山东 东营 257237)

摘要:海底管道的施工质量直接关系到海底管道能否长久地安全运行。对施工期间各种环境荷载、施工荷载作用下的海底管道上的应力和变形进行计算、分析和监控,是确保海底管道施工质量不可缺少的重要手段。本文通过计算实例对浮拖法敷设海底管道安装计算分析的方法作了研究,并对胜利海洋石油开发公司与天津大学合作研究开发的海底管道安装分析软件在胜利埕岛油田海底管道工程建设中的应用作了介绍。

关键词:海底管道;安装应力;浮拖法;模拟计算;分析软件

中图分类号:TE973.921

文献标识码:A

1 概 述

海底管道是海上油田生产系统中的一个重要组成部分,海底管道敷设安装也是海洋工程作业的重要内容之一。随着埕岛油田开发建设规模的不断扩大,每年都将有大量的海底输油管道和注水管道需要安装作业和投入运行,海底管道安装作业和运行使用所处的水深在逐年增加,所面临的海洋环境也更趋复杂和恶劣,在海上油田生产中发挥重要作用的海底管道的安全运行也日益显得重要。要保证各类海底管道安全运行,提高其施工质量是关键一环。

海底管道有多种敷设安装方法,如敷管船法、浮拖法、底拖法等,其中浮拖法是目前埕岛油田海底管道工程建设中最主要的施工方法。它具有操作简单、施工周期短、风险小、投资省等优点,是一种非常适合于埕岛海域水文和气象特点的海底管道敷设方法。然而,由于海洋环境的复杂性和海上工程施工的特殊性,使以往在浮拖法施工中仅凭经验已越来越不能适应埕岛油田海底管道工程建设的要求。对于在海洋环境中复杂的风、浪、流等环境荷载和各类施工机具产生的施工荷载作用下的海底管道将出现大变形状态,局部可能发生塑性变形,严重时甚至可能发生断裂,损坏管线结构。国内外大量的海底管道工程施工作业实践表明,施工前利用结构分析软件,根据敷管方法、工况条件等建立相应的计算

收稿日期:1999-11-15,修订日期:1999-12-18

模型,对安装过程进行模拟计算和分析,能够极大地提高施工的预见性、安全和可靠性,能降低风险,提高施工质量,加快施工进度。为此,1996年6月我们开始与天津大学合作研究、开发浮拖法安装海底管道施工应力计算分析软件系统,于1997年4月研究成功并用于埕岛油田海底管道施工中。两年多来,我们多次用该软件系统对埕岛海上安装的一系列海底管道进行计算,取得了良好的效果,并通过中国船级社的评审、验收。

2 浮拖法敷设海底管道安装应力计算分析

所谓浮拖法即利用绑扎一定数量的浮筒,使在陆上分段预制好的海底管道漂浮在水面或近水面,管道首部由拖轮通过拖缆拖曳,管道尾部用牵制船控制漂浮管段在水中的摇摆,把海底管道分段拖到预定位置,然后解脱浮筒沉放就位的一种海底管道施工方法(图1)。浮拖法安装海底管道可分为三个步骤:①海底管道分段浮拖就位、沉放;②水平管段对接;③立管安装。施工前需利用安装分析软件分别对这三个步骤进行模拟计算与分析。无论是水面拖管,还是平管段对接,或是立管安装,管线都将产生较大的变形,属于几何非线性问题,结构分析软件中采用了有限元法进行计算求解。

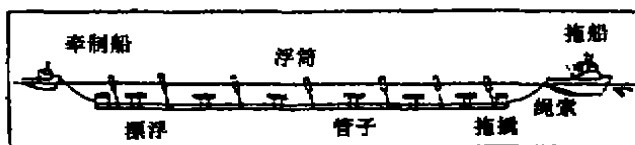


图1 浮拖法敷设海底管道示意图

2.1 海底管道浮拖计算分析

海底管道在水面浮拖过程中将受到风、浪、流等环境荷载和拖缆拖曳力、浮筒浮力等施工荷载的作用。因此,海底管道在拖航前需建立相应的计算模型,启动海底管道安装分析软件中的管线浮拖应力分析程序,输入管径、壁厚、长度、拖航速度、波长、波高、风速等有关计算参数,计算确定作用于拖航管线上的最大应力值和最大位移值及最大许可拖管长度,并绘制出管线上的应力分布曲线和变形曲线,可便于直观地了解拖航管线上的应力分布和变形情况,从而编制合理可行的施工方案,确保管线拖航的结构安全。

2.2 海底管道水平管段对接计算分析

在浮驳上进行海底管道对接过程:先利用浮吊将置于海底的两段水平管分别吊出水面,使管头交叠,用舷吊将管线固定在船舷边,对口、焊接和外防腐处理完毕后将管道整体吊放回海底。为了防止水平管对接时管线在环境荷载和施工荷载的作用下发生塑性变形损坏管线结构,需对平管对接过程中三种不同性质的受力状态进行计算分析:①无浪、无流作用下水平管起吊过程;②在波浪和海流作用下的悬跨管段;③完成对接后整条管道在无浪、无流作用下回放海底的过程(图2)。对于水平管对接施工中这三种不同受力状态,需分别建立3个不同的结构计算分析模型(图3,图4),启动分析软件中相应的计算程序,输入波浪、海流、舷吊等有关参数进行分析求解,确定施工过程中管线上产生的应力和变形是否在允许的范围内,及时修正施工方案,确保管道的结构安全和施工质量。

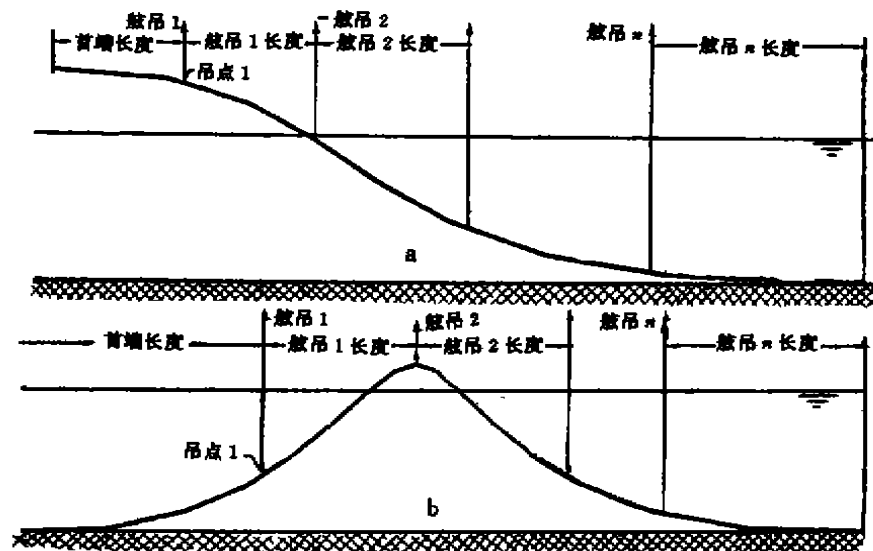


图 2 水平管起吊(a)整体回放(b)示意图

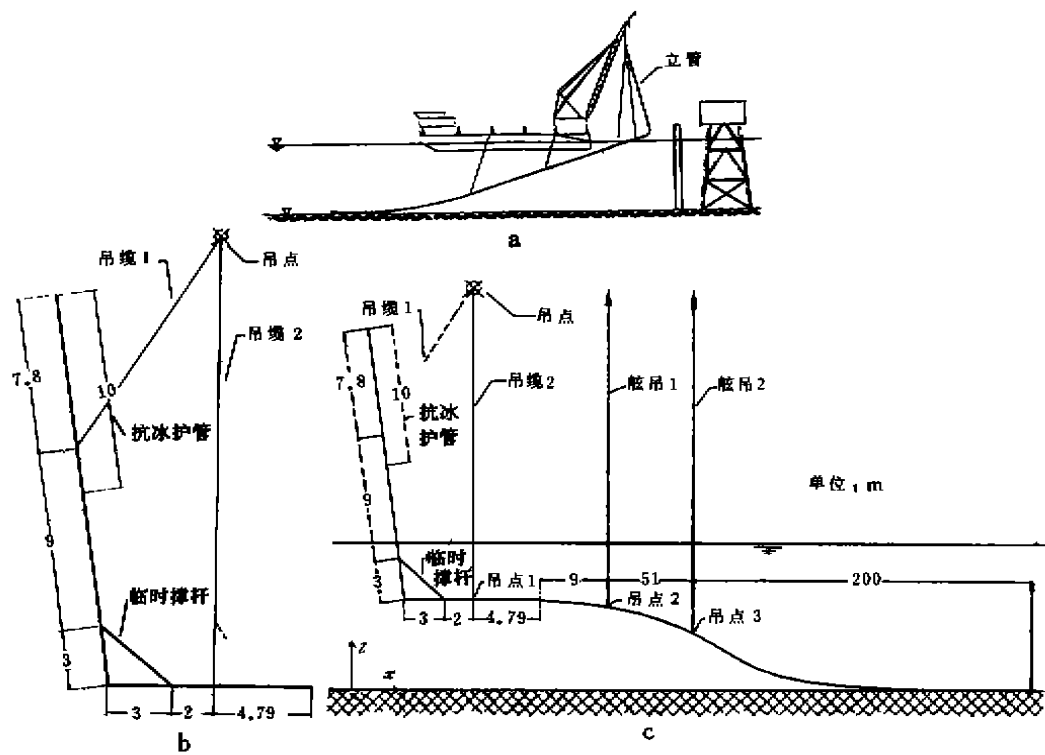


图 3

a. 立管安装示意图; b. 立管起吊计算模型; c. 立管与平管整体回放计算模型

2.3 立管安装计算分析

立管是海底管道和平台上的生产工艺设备之间的连接管路,由于其所处的特殊位置,将承受风、波浪、海流、冰等各种恶劣的环境荷载和内部工艺荷载作用,因而在安装时更应注重其施工质量。在浮驳上进行立管安装的过程:先用浮吊将置于海底的水平管捞起并用舷吊固定在船舷边,再用浮吊将立管吊起与水平管对接,然后将管道整体吊放回海底的同时将立管安装固定于导管架腿柱上的立管卡子中。由于立管上常设有垂直和水平方向多处膨胀弯管,吊装时容易在环境和施工荷载作用下发生塑性变形损坏结构,因此,在安装前必须进行可靠的计算分析。对于立管安装有四种不同性质的受力状态,需要分别进行计算分析:①无浪、无流作用下水平管起吊过程;②在波浪、海流作用下的悬跨管段;③立管的起吊过程;④立管与水平管对接完毕后整体放回海底的吊装过程。

对这四种不同的受力状态,需分别建立相应的结构计算模型,启动分析软件中相应的计算分析程序,输入波浪、海流、管线、舷吊、结点、单元等有关参数进行分析求解,以确保各种工况条件下,作用于管线上的应力和产生的变形不超出允许的范围。

3 计算实例

我们利用与天津大学合作研究开发的海底管道安装分析软件,对埕岛油田 CB22B—CB25B 海底管道 CB25B 端平管起吊施工过程进行计算分析,以进一步说明利用分析软件进行海底管道安装应力分析的方法。

1. 工况:CB22B—CB25B 海底管道 CB25B 端平管起吊作业。
2. 计算模型:见图 3、图 4。
3. 基本参数:平管起吊作业计算分析所需输入参数见表 1。坐标系为右手正交系,原点在海底, x 轴与管线轴线重合,由海底到海面为 z 轴正向。

表 1 平管起吊分析基本参数

参数	量值	参数	量值
水 深(m)	12.0	空气中重量(N/m)	1 508
管材规格 内管	$\phi 219 \times 12$	海水中重量(N/m)	675
(mm) 外管	$\phi 325 \times 12$	波周期(s)	7.7
钢管材质	16Mn	波高(m)	1.5
屈服应力(MPa)	318.5	波浪方向与 x 轴夹角($^{\circ}$)	90.0
许用应力(MPa)	229.3	波浪相位角($^{\circ}$)	0.0
钢材密度(kg/m ³)	7 850	海流方向与 x 轴夹角($^{\circ}$)	90.0
弹性模量(GPa)	206	流速(m/s)	1.5
海水密度(kg/m ³)	1 025	拖曳力系数	1.2
截面面积(m ²)	1.96×10^{-2}	惯性力系数	2.0
截面惯性矩(m ⁴)	1.867×10^{-4}		
升力系数	0.0		

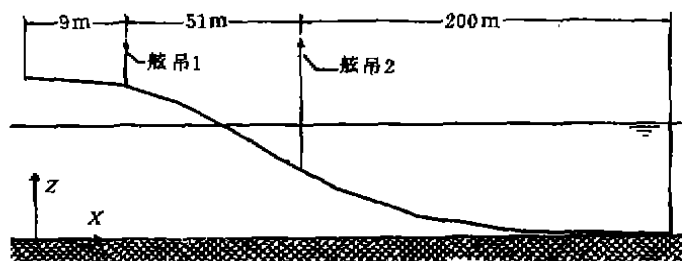


图 4 平管起吊计算模型

4. 计算结果:经软件分析计算结果如表 2,管线上最大应力为 $1.90 \times 10^8 \text{ Pa}$,小于许用应力,管线上的应力分布曲线和变形曲线如图 5 所示。

表 2 CB25B 端海底管道水平管起吊计算结果

步骤	舷吊 1			舷吊 2			最大应力(Pa)
	提升位移(m)		张力(N)	提升位移(m)		张力(N)	
	本次	累计		本次	累计		
1	5.0		2.52×10^4				1.90×10^8
2			2.14×10^4	2.0		4.18×10^4	1.61×10^8
3	5.0	10.0	2.41×10^4			3.45×10^4	1.64×10^8
4			2.14×10^4	2.0	4.0	4.36×10^4	1.41×10^8
5	5.5	15.5	2.43×10^4			3.67×10^4	1.69×10^8

4 海底管道安装分析在埕岛油田的应用

从 1997 年 4 月起,我们利用与天津大学合作研究开发的浮拖法安装海底管道施工应力分析软件系统,对埕岛油田一系列海底管道工程的敷设安装进行计算分析,先后指导了 CB251B—CB251C、CB11F—CB11G、CB1A 至中心二号、中心二号至中心一号、CB20A 至中心二号等双层保温管海底输油管道和中心二号至 CB22C、CB22C—CB22A、CB22A—CB11F 等单层管海底注水管道工程的安装作业,都取得了良好的效果,提高了埕岛油田海底管道的施工质量,加快了施工进度,降低了施工风险,同时也创造了可观的经济效益和社会效益。

上述安装分析软件可对浮拖法安装海底管道的各种工况下的管线受力状态进行准确地模拟计算、分析和校核。该软件在埕岛油田海底管道建设中主要有以下几方面应用:①为施工前编制合理可行的施工方案提供数字依据,也可对施工单位提交的施工应力计算报告进行审查,从而评判其施工方案的可行性和合理性。②可对施工中各种复杂的现场条件下管线受力和变形进行计算分析,以确保施工时海底管道结构的安全性和施工质量。③当海底管道由于各种原因发生意外损坏需对其进行修复时,可利用分析软件对修复方案

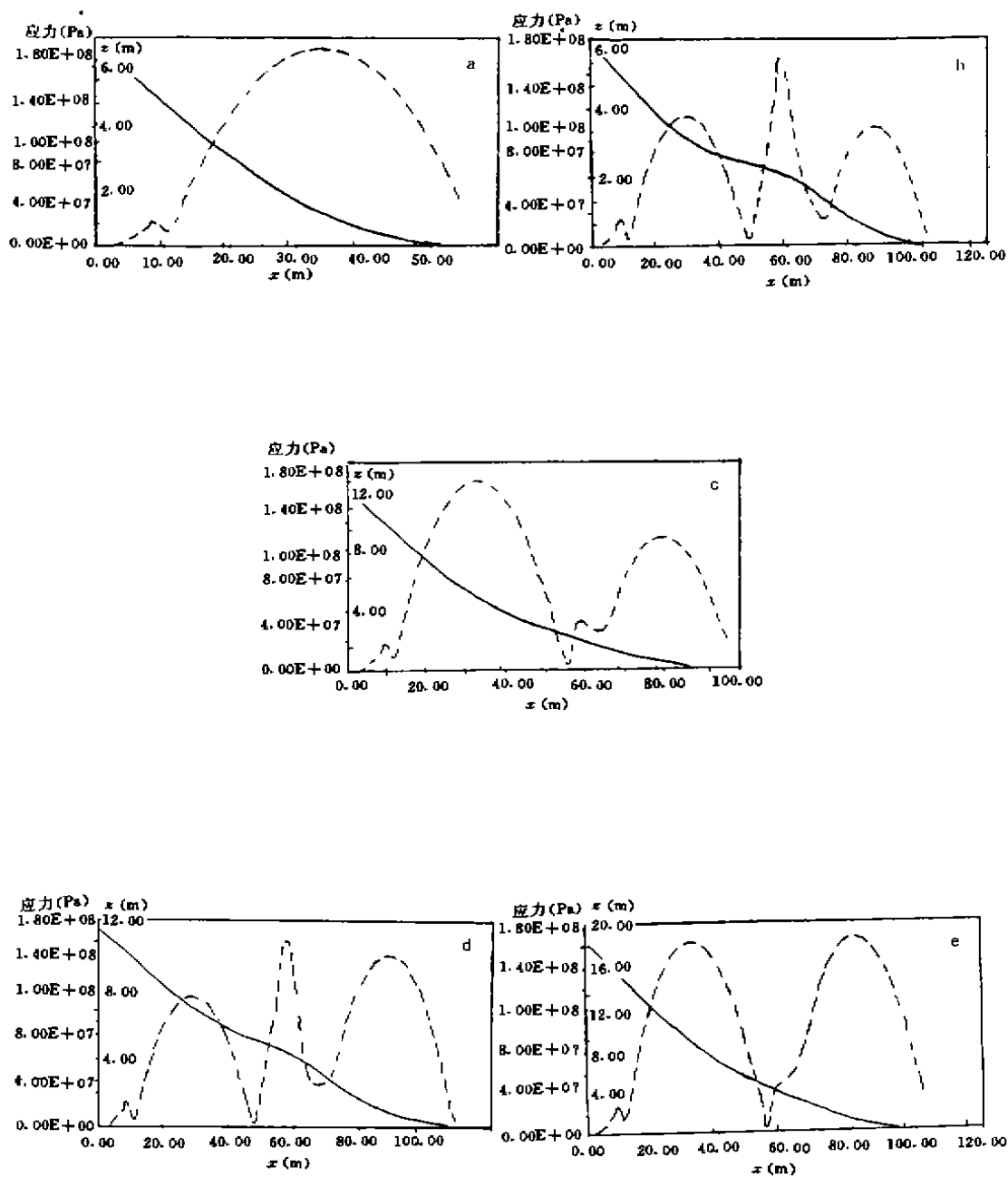


图 5

— 管线变形曲线; --- 管线应力曲线

a. 步骤 1; b. 步骤 2; c. 步骤 3; d. 步骤 4; e. 步骤 5

中的起吊、回放等过程进行模拟计算分析,确保修复作业中海底管道结构的安全。如 1998 年 7 月,当 CB22 单一 CB22A 海底管道因作业一号平台就位发生破损需进行修复时,我们曾利用该软件对施工单位提交的修复方案进行了计算审核,提高了该海底管道的修复质量。

综上所述,埕岛油田海底管道安装分析软件的研究、开发和应用,是海洋结构计算分析理论与胜利浅海海洋工程作业实践相结合的有益尝试,已对埕岛油田的海底管道建设产生了积极影响,同时,也为实现“安全、经济、简易、注重环保”地开发胜利海上油田起到了一定的推动作用。

THE STUDY AND APPLICATION OF METHOD FOR STRESS ANALYSIS OF AN OFFSHORE PIPELINE DURING INSTALLATION IN CHENGDAO OIL FIELD

XIA Rong-cong, HOU Qiang

(Shengli Ocean Oil Exploitation Co. Dongying Shandong 257237, China)

Abstract: High quality construction is absolutely essential to insure that an offshore pipeline will long-term operate safely. During installation, offshore pipeline can be affected by environmental forces and constructing forces. Calculating and controlling of stress level of pipeline during installation by a structural analyzing software is an important measure to insure the construction quality of an offshore pipeline. The paper studies the method of stress analysis for an offshore pipeline installed by surface tow method, then introduces a software system for offshore pipeline stress analysis during installation that developed by our company together with Tianjin University and the application of Shengli Chengdao oil field.

Key words: offshore pipeline; installation stress; surface tow method; simulation calculation; analyzing software

青岛东海路工程荣获“鲁班奖”

青岛市东海路绿化美化工程荣获 1999 年国家优质工程“鲁班奖”。其中一项重要的单项工程——青岛名人精品雕塑园护岸工程,由青岛港湾工程勘察设计院设计,由中港一航局二公司施工。青岛港湾工程勘察设计院被青岛市政府授予“青岛市东海路绿化美化工程先进单位”。

(金玉)