

# 在役油气管道安全评定软件<sup>\*</sup>

帅 健 许 葵

石油大学(北京), 北京, 102249

**摘 要** PSA for Windows 是运行在 Windows 系统下的油气管道安全评定软件。该软件既可以用于在开挖中发现的管道局部缺陷的剩余强度的精确评定, 又可以用于腐蚀检测之后对管道全线的安全评定与剩余寿命预测。软件中采用了非线性有限元分析、失效评定图和概率性的评定方法等最新成果。介绍该软件的结构、模块、软件特点、主要功能和操作界面。

**关键词** 油气管道 安全评定 剩余强度 剩余寿命 失效概率 应用软件

服役多年的长输油气管道, 运营的安全性是管理部门极为重视的问题。依据对长输管道全线腐蚀检测和对管道局部开挖腐蚀检测的腐蚀缺陷数据, 适时对管道不同腐蚀区段进行安全性评价, 明确事故隐患的薄弱区段, 并有针对性地采取维修对策和措施, 以保证长输管道运营的安全性, 是实施管道安全运营管理的重要内容。为了方便工程应用, 笔者研制了腐蚀管道安全评定软件, 就是把安全性评价、预测方法与相关数据的录入与处理、腐蚀缺陷分析、工况运营参数及其内压分布分析等技术有效地结合, 并依据腐蚀管道剩余强度评价及剩余寿命预测的基本过程, 按相关关系通过程序设计有效地实现

连接, 建立一个较为完整的腐蚀管道安全评定系统, 以达到工程实用的目的。该软件是采用 Visual Basic 6.0 可视化集成系统开发的 32 位 Windows 98/NT 应用程序。软件开发了交互式图形用户界面, 用户可根据界面提示输入各项参数, 完成各项计算与分析, 计算结果以及根据结果绘制的图形能在屏幕上直接显示, 使用十分方便。

## 1 软件结构与特点

### 1.1 软件结构

该软件的结构框图如图 1 所示。

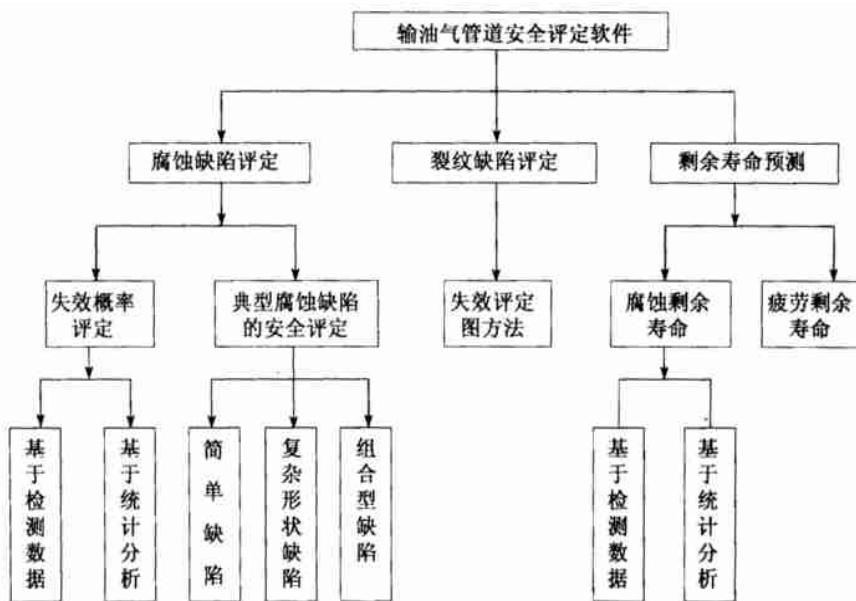


图 1 软件结构框图

<sup>\*</sup>中国石油天然气集团公司石油科技中青年创新基金项目(CX1998-27)

## 1.2 模块组成

该软件由下列模块组成: 1)管道失效概率评定(基于检测数据); 2)管道失效概率评定(基于统计分析结果); 3)简单腐蚀缺陷的安全评定; 4)复杂形状缺陷的安全评定; 5)组合型缺陷的安全评定; 6)裂纹缺陷的安全评定; 7)基于腐蚀速率的管道剩余寿命预测(基于检测数据); 8)基于腐蚀速率的管道剩余寿命预测(基于统计分析结果); 9)基于疲劳分析的管道剩余寿命预测; 10)以窗口界面技术为基础的人机交互式处理系统; 11)符合管道安全运营管理需要的后处理数据管理系统(包括数据库、文档保存和图形显示结果)。

## 1.3 软件特点

1) 该软件既可以用于在管道局部开挖中发现的单个缺陷的安全评定, 又可以用于管道腐蚀内检测之后的管道安全评定与剩余寿命预测。

2) 该软件的设计既针对腐蚀缺陷(体积型缺陷), 又针对裂纹缺陷。

3) 采用先进的概率性的评定方法, 对整段管道的安全状况做出评定, 并对腐蚀发展趋势作出预测。

4) 对腐蚀缺陷的安全评定采用了包括 ASME B31G 等规范在内的多种方法, 其中还采用了非线性有限元分析结果, 最大限度地降低了管道安全评定中的保守程度。

5) 裂纹管道的失效评定是基于失效评定图的方法, 即是完全的弹塑性评定方法, 并在失效评定中应用了等可靠性指标线的概念, 同时进行了安全系数和可靠性的评定。

6) 集成化。将所有功能模块集成于一体, 方便工程应用。

## 2 软件主要功能和操作界面介绍

### 2.1 腐蚀缺陷管道的失效概率评定

基于可靠性方法评定管道的安全程度, 包括 2 种方式: 基于管道的腐蚀检测数据和基于统计分析结果。前者直接基于腐蚀检测资料, 尤其适用于利用现行的漏磁检测装置进行检测之后的管道安全评定。在多次检测结果的基础上, 还可以预测管道全线腐蚀率的发展趋势, 即管道的剩余寿命。后者是在各项参数的统计分析基础之上, 适用于有经验的技术人员。

对于基于检测数据的失效概率评定, 其功能是

根据管道运行参数以及管道腐蚀检测数据, 确定管道全线的失效概率, 并与目标失效概率相比较, 以确定管道全线的安全状况是否符合要求。如图 2 所示的窗口界面, 上半部分为腐蚀缺陷密度, 即每 km 管道上的重度缺陷、中度缺陷数指示, 轻度缺陷由于数量太多, 不便在图中示出, 如果需要详细了解每 km 管道上的轻度缺陷分布数量, 可以在数据文件中查出。图 2 的下半部分绘出了管道的失效概率, 图中并给出了高风险地段、中风险地段和低风险地段的目标失效概率指示线。

### 2.2 典型腐蚀缺陷的安全评定

该项功能是根据管道运行参数以及缺陷的形状和尺寸, 评定局部缺陷管段的安全性, 评定指标为安全系数: 安全系数大于 1, 则为安全; 安全系数小于 1, 则为不安全, 应该采取适当的补救措施。

典型缺陷的安全评定根据缺陷的具体情况分成 3 种情形: 简单缺陷, 复杂形状缺陷和组合缺陷。简单缺陷是指可以简化成矩形形状的腐蚀缺陷, 复杂缺陷是指缺陷的形状呈不规则曲线, 而组合缺陷是指在临近区域内存在多个缺陷, 缺陷之间有相互作用。该项功能适用于在开挖管道后, 可以较为精确地测量管道表面腐蚀缺陷的形状和尺寸。

图 3 所示是一简单缺陷的安全评定的界面, 在输入必要的数据后, 在图中即显示了评定曲线和评定点的位置。评定曲线是根据非线性有限元分析结果制定的, 分为 3 种情况, 当前压力、设计压力和水压实验压力。设计压力是按输油管道的强度设计系数确定的压力, 水压实验压力是指环向应力为 0.9 SMYS 时管道的内压。根据评定点的位置, 可以确定是否可以在当前压力、设计压力和水压实验压力下安全运行, 而显示的安全系数是指管道当前压力下的安全系数。

### 2.3 裂纹型缺陷评定

裂纹型缺陷的评定采用了先进的 R6 失效评定图方法, 即是严格意义上的弹塑性评定。该程序的功能是根据管道运行参数以及裂纹尺寸, 进行含裂纹管道的安全性评定, 评定指标为安全系数: 如果安全系数大于 1, 则为安全; 如果安全系数小于 1, 则为不安全, 应该采取适当措施, 如图 4 所示。点击“裂纹缺陷示意图”, 可以看到管道裂纹的截面形状, 点击“程序使用方法”, 可以看到该程序的功能和使用方法介绍。

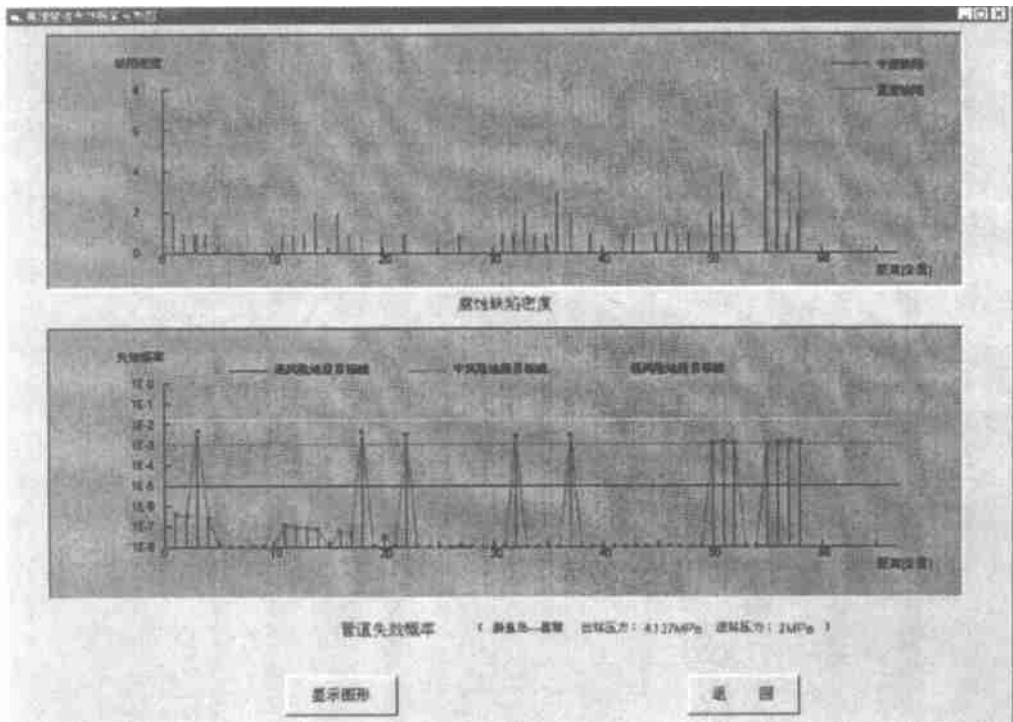


图 2 失效概率图

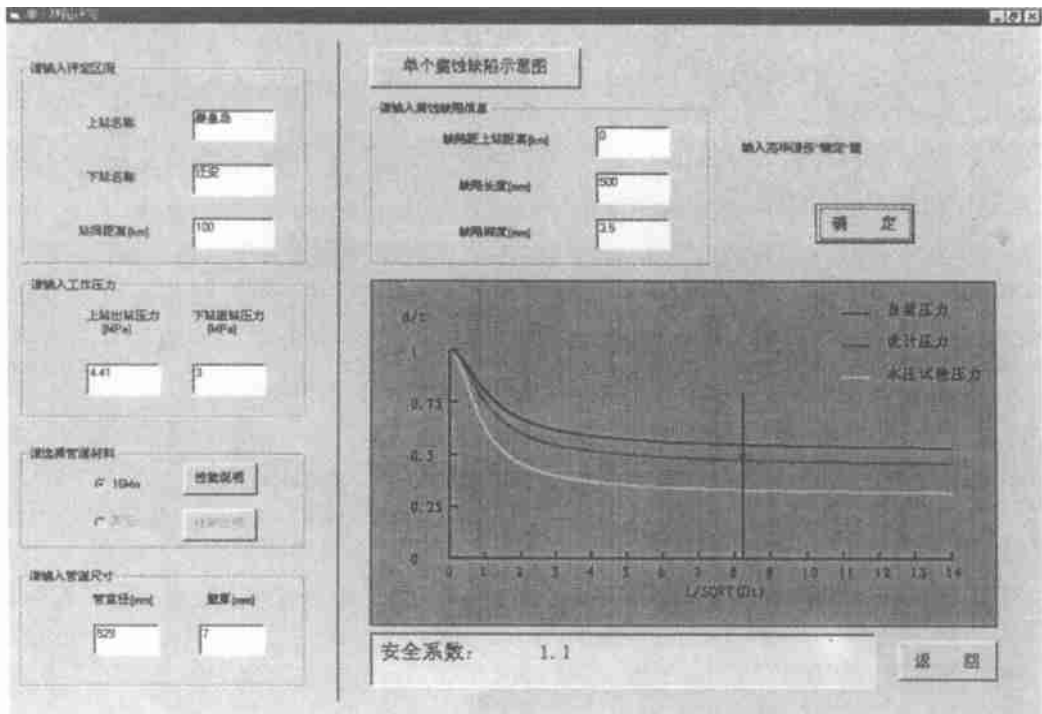


图 3 单个缺陷安全评定

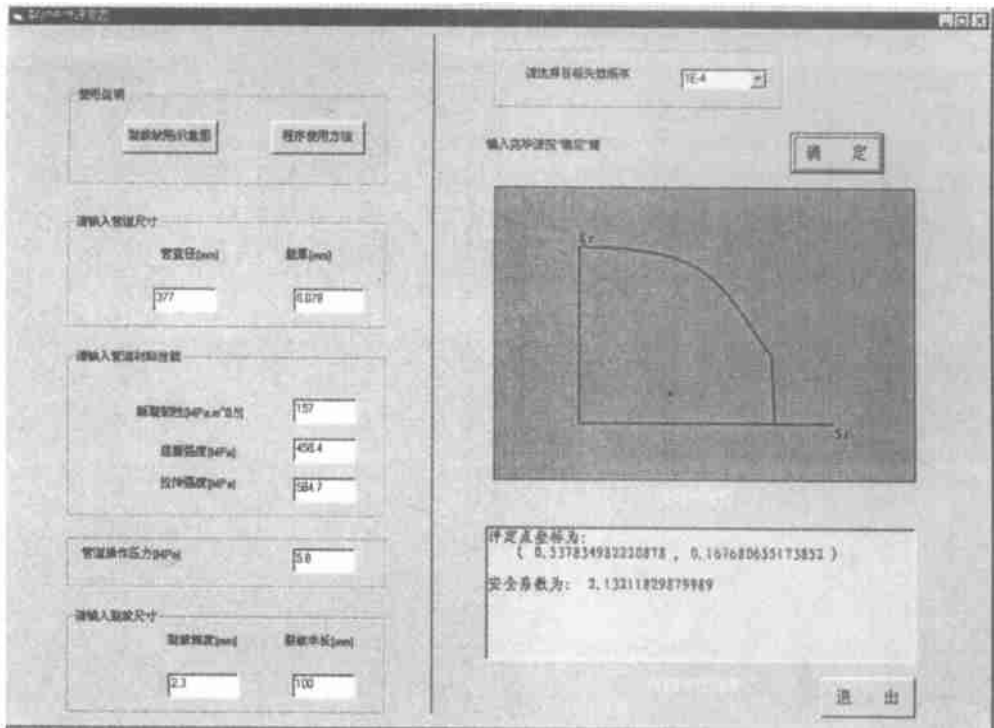


图 4 裂纹缺陷的安全评定

## 2.4 管道剩余寿命预测

### 2.4.1 基于腐蚀趋势的剩余寿命预测

管道的腐蚀剩余寿命预测采用基于腐蚀速率的可靠性方法，与腐蚀缺陷的失效概率分析相似，也包括2种方式：基于检测数据和基于统计分析结果的寿命预测方法。

对于基于检测数据的剩余寿命预测，其功能是根据管道运行参数以及管道腐蚀内检测数据，确定腐蚀管道在未来服役年限中的失效概率，从而为腐蚀管道的维修决策打下基础。与腐蚀缺陷的失效概率分析相比，该程序的重点是预测未来服役年限中腐蚀管道的失效概率，而不只是分析管道当前的安全状况。

对于基于统计分析的剩余寿命预测，其功能是通过对管道腐蚀内检测数据的统计分析或者其他分析方法得到的管道腐蚀速率的统计特征值，确定腐蚀管道在未来某一服役年限中的失效概率，将某一年限中的失效概率与目标失效概率相比较，从而确

定该腐蚀管道的剩余寿命，如图5所示。

确定了腐蚀区域的可靠性指标走势图以后，给定服役腐蚀管道的可靠性指标下限，对照该图，找出该值对应的年限，就能预测腐蚀管道的剩余寿命。

### 2.4.2 管道疲劳剩余寿命预测

该程序的功能是根据管道运行参数以及腐蚀缺陷尺寸，评定腐蚀管道由于管道内部输送压力变化而引起的疲劳寿命，疲劳寿命计算的依据是工程断裂力学中 Paris 公式。

PSA 软件的开发一方面考虑了程序的先进性，引入了腐蚀缺陷的非线性有限元分析方法、裂纹管道的失效评定图法和基于可靠性理论的评定方法等新技术，一方面结合我国管道工业的实际情况，特别是管道腐蚀检测后管道安全评定的实际需要，注重工程实用性和现场应用的可操作性，是近年来国内在油气管道安全评定这一领域所取得的研究成果。

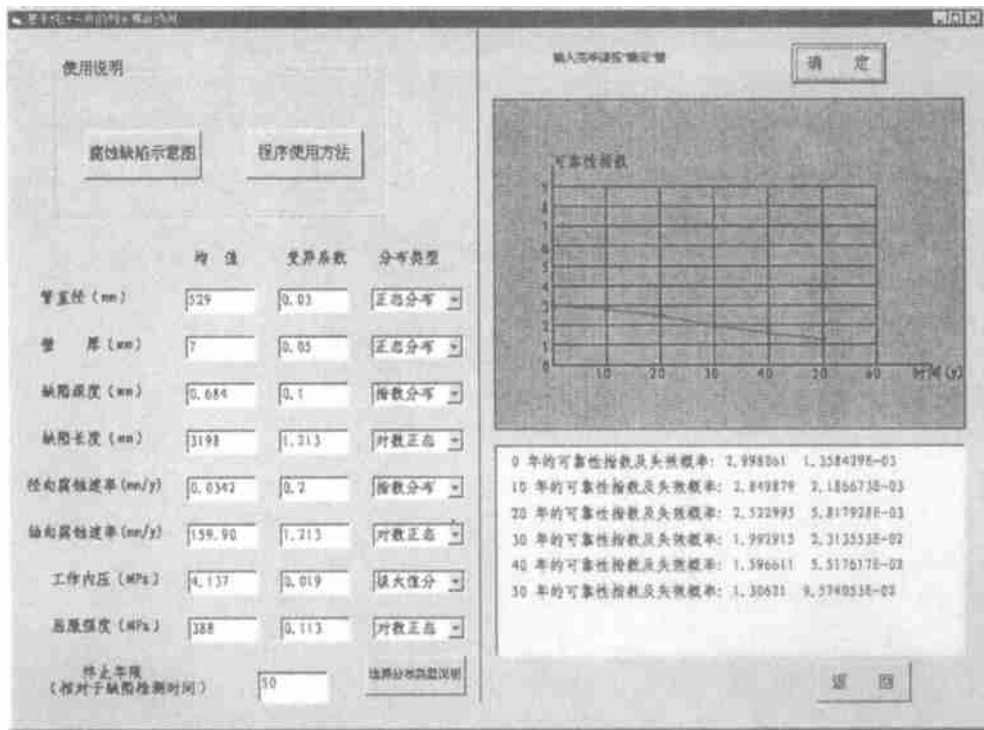


图 5 基于统计分析的剩余寿命预测

(收稿日期: 2002-09-25; 编辑: 徐 平)

## 渤海石油环保服务有限公司正式挂牌营业

渤海石油环保服务有限公司于 2003 年 1 月 10 日正式挂牌营业, 并签下 2 份长期服务合同。该公司由中国海洋石油渤海公司与青岛环海海洋工程勘察研究院合资成立, 从事海洋溢油应急响应和其他环保服务, 该公司成为中国第一家具备 II 级溢油处理能力的专业公司。

据有关专家预测, 我国在 2000 年至 2010 年间, 石油需求年增长率将升至 4.3%~5.4%。目前, 我国海上石油运输量已经跃居世界第 3 位, 仅次于美国和日本。预计至 2005 年, 渤海海上石油的产量将达到 2 000 万吨, 渤海将成为中国北方重要的原油生产基地。

如何将海洋溢油污染防患于未然, 成为海洋石油工业在今后大发展中一个急需考虑的问题。目前在渤海湾从事石油开采的 11 家中外公司, 各自拥有自己的溢油应急设备、设施, 部分公司拥有应急机构, 但溢油应急反应能力只能应对小型溢油, 难以适应渤海海域海洋石油大开发的需要。随着国家“渤海综合整治规划 2001—2015”的实施, 在渤海地区成立一个以溢油应急反应为主体业务的环保服务公司, 科学管理和调配溢油应急设备, 统一指挥, 专业化运作, 全面提高渤海湾溢油事故处理能力已是当务之急。

渤海石油环保服务有限公司成立后, 将配备具有国际先进水平的溢油回收设备, 聘请外国知名专家为专职技术顾问, 根据国际惯例, 结合渤海湾的地理和水域特征, 编写切实可行的溢油应急计划, 并进行溢油应急等环保设备的合理配置。同时, 该公司将提供多方面的专业服务, 包括对污染海域进行环境影响评价、海上溢油处理新技术研究与推广等相关环保服务。

(中国海洋石油总公司办公厅提供)

开发奠定了良好的基础。

3) 南堡 8Sa 井的钻探是成功的,但其钻井技术还有待进一步改进和提高,因为其水力参数还有些保守,采用的泥浆排量过低(最低  $2\ 500\ \text{L}\cdot\text{m}^{-1}$ ),特别是使用 PDC 钻头后,在钻屑体积大、钻速快这样的参数下作业存在一定的风险。第一趟电测时,电测仪器在 390 m 处遇阻,而且随后的几次通井均有较大阻卡点,这与钻进时的排量低不无直接关系。这些需要在今后进一步改进和提高。

4) 对地质情况的了解和与地质部门的沟通是非常重要的。钻井人员必须充分认识河流相沉积地层的复杂性和变化多样性,以便及时调整钻井技术措施,严格控制井身质量。

5) 对松软地层井身质量的控制,特别是对于南堡油田,还需要认真及时地研究、分析和总结,以制定出合理、完整的钻井和油层保护措施。要在有限的评价井作业中尽可能多地积累、完善钻井作业配套技术,为将来大规模开发油田做好准备。

6) 渤海优快钻井模式已经取得了很大的成绩,但我们还要清醒地看到:随着油田开发的进展,新的油田、新的问题、新的困难,还会不断向我们提出新的挑战。我们要不断发现新问题,不断分析和研究新问题,及时总结经验,才能够适应海洋石油不断发展的大好局面,才能把钻完井技术不断提高到新水平。

(收稿日期:2002-03-26;编辑:张金棣)

## 作者简介

房晓明:高级工程师,1955年出生,1982年毕业于大连理工大学海洋工程专业,现任海洋石油工程股份有限公司总工程师,曾任文昌项目单点安装工程项目经理

朱绍华:高级工程师,1964年出生,1985年毕业于天津大学海洋与船舶工程系,现在海洋石油工程股份有限公司工作,曾任文昌项目海上安装经理

杨晓刚:高级工程师,1964年出生,1986年毕业于天津大学海洋与船舶工程系,1992年获天津大学海工专业硕士学位,现在海洋石油工程股份有限公司工作

杨进:1989年毕业于石油大学(华东)钻井工程专业,1996年获石油大学硕士学位,现为矿业大学(北京)在读博士研究生,从事石油工程方面的研究

陈波:1974年出生,现于天津大学岩土工程研究所攻读博士学位,主要从事海洋平台桩基、软土地基处理等研究

张保军:工程师,1970年出生,1992年毕业于天津大学海洋工程专业,获工学学士学位,现在中海石油研究中心工作

付昱华:高级工程师,1945年出生,1968年毕业于西南交通大学桥隧系,工学硕士,国家一级注册结构工程师

姜伟:高级工程师,1955年出生,1982年毕业于西南石油学院钻井工程专业,现为中海石油研究中心副主任

李成见:高级工程师,1967年出生,1989年毕业于西南石油学院开发系采油工程专业,现任中国海洋石油渤海采油工程技术服务有限公司总工程师

吴钊光:工程师,1966年出生,1989年毕业于西南石油学院开发系采油工程专业,现任中国石油天然气股份公司西南油气田分公司重庆气矿采气一厂大竹输气队副队长

李新仲:高级工程师,1964年出生,1984年毕业于天津大学海洋工程专业,现在中海石油研究中心工作

刘孔忠:工程师,1971年出生,1993年毕业于清华大学水力系流体机械与流体工程专业,1996年毕业于石油大学(北京)机电系石油天然气机械专业,硕士研究生,现任东海平湖油气田扩建项目海上工程项目组经理助理

王 翥:经济师,1963年出生,1984年毕业于广东石油学校,现在海洋石油工程股份有限公司工作

帅健:博士,教授,博士生导师,1963年出生,1982年毕业于武汉化工学院,现在石油大学(北京)机电学院从事工程力学和油气储运系统安全工程的教学与科研

——本刊

°MANAGEMENT°

Brief Introduction on Abandonment of Offshore Oil and Gas Field ..... *Li Xinzhong, Xu Benhe*(46)

Abstract: Abandonment is the final procedure of oil and gas field development, and it is a new field. Based on the analysis to relatively domestic and overseas document, using the experience in development engineering, this paper introduces the standard, relative field, process and general method of abandonment.

Key Words: decommissioning, abandonment, platform removal, artificial reef

Marine Growth Preventer Application to the Jacket of Pinghu Oil and Gas Field

..... *Liu Kongzhong, Guan Yaohua, Zhong Hua*(50)

Abstract: Specially designed Marine Growth Preventer (MGP), powered solely by natural ocean forces and their own buoyancy, provide continuous rolling and impacting actions over submerged structures. The repeated up and down sweeping action prevents the settlement of micro-fouling, and maintains the surface free of marine growth. It is the first time in domestic for MGP introduced to Pinghu oil and gas field and it is proved that MGP is an effective solution to the marine growth control.

Key Words: marine growth, marine growth preventer (MGP), multi-ring MGP, single-ring MGP

Discussion About the Bidding on the Offshore Engineering Material Procurement ..... *Wang Zhe*(53)

Abstract: This paper analyzes the status of the material procurement and the success by the Offshore Oil Engineering Co. Ltd., in the meantime the current problems were proposed too. For the further improvement the systems of the material procure and public bidding as well as the bidding evaluation were discussed.

Key Words: material procure and public bidding, bidding evaluation, procurement cost

°COMPUTER°

Safety Assessment Software for Oil and Gas Pipeline ..... *Shuai Jian, Xu Kui*(55)

Abstract: PSA for windows is window-based application software for oil and gas pipelines safety assessment. It can be used not only for the precise assessment of residual strength for a local defect found in pipe excavated, and also for the safety assessment and life prediction along the total length of a pipeline inspected by corrosion detecting device, with the recent achievements such as non finite element analysis, failure assessment diagram and probabilistic method. This paper describes the structure, modules, features, function and interface of PSA software.

Key Words: oil and gas pipeline, safety assessment, residual strength, remaining life, failure probability, application software