

深水钻井井喷失控水下应急封井回收系统

李迅科, 殷志明, 刘健, 蒋世全, 周建良

(中海油研究总院, 北京 100027)

摘要 离岸远、海况复杂的深水油气井井喷失控将会引起灾难性的事故。主要综述了国外深水发生井喷失控造成平台倾覆后的水下油井封井系统, 包括系统功能和组成。给出了7家公司(机构)研制的水下应急封井装置(封井器)、结构形式及目前的部署情况。对下一步研究深水应急救援技术和建设应急水下油井封井回收系统给出了建议。

关键词 深水钻井; 井喷; 封井回收系统; 封井器

中图分类号 TE28

文献标志码 A

文章编号: 2095-7297(2014)01-0025-05

Marine Well Containment System for Subsea Blowout Scenario of Deepwater Drilling

LI Xun-ke, YIN Zhi-ming, LIU Jian, JIANG Shi-quan, ZHOU Jian-liang

(CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract Deepwater drilling well blowout can cause serious damages and huge losses. In order to reduce the effects of accidents, the industry has developed several emergency response systems (marine well containment systems). We introduce the recent developments of such systems after BP Macondo subsea well blowout occurring on April 20, 2010 in Gulf of Mexico. The system functions, elements and arrangement of 14 kinds of capping stacks built by 7 companies(organizations) are reviewed. Capping stack, a hardware utilized to contain the blowout well at or near the wellhead, is the center piece of the system. Finally, we also give some recommendation for research on emergency response techniques for deepwater well blowout.

Key words deepwater drilling; well blowout; containment system; capping stack

0 引言

海上(尤其是离岸远、环境复杂的深水)油气井井喷失控将会引起灾难性的事故。近几年来,连续发生了2009年PTTEP澳大利亚平台井喷事故、2010年BP墨西哥湾事故、2011年雪佛龙巴西漏油事故、2012年雪佛龙尼日利亚井喷平台倾覆事故、2013年7月Walter油气公司的平台火灾事故等重大海上钻井事故。BP墨西哥湾Macondo事故发生后公众对环境保护和井喷失控应急响应提出的要求也给行业和政府带来很大的压力。美国政府监管部门在钻修井许可申请和过程控制方面制定了严格的规定,要求作业者在申请海上钻井、修井作业许可时

必须证明其能够控制海上井喷。

在深水钻井中发生井喷失控的最恶劣工况,从发生井喷到最后平台倾覆、大量油气溢出,一般要经历几个阶段:(1)井筒发生溢流;(2)井喷失控,地层流体大量涌出到钻台;(3)平台发生火灾、爆炸;(4)平台倾覆,海底发生大量溢油。本文主要介绍平台倾覆、井口失控发生井喷后的应急救援系统和其中的关键设备。

1 水下应急封井回收系统

针对平台翻沉后复杂的井下工况,目前行业已组建了3家应急救援系统:MWCC公司的水下油井封井系统(Marine Well Containment System,

收稿日期:2014-02-21

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05026-001)、国家能源重大应用技术研究及工程示范专项

作者简介:李迅科(1956—),男,高级工程师,主要从事海洋石油钻井工程装备方面的研究。

MWCS)、Helix 公司快速响应系统 (Helix Fast Response System, HFRS) 和 Wild 井控 (WWC) 公司的油井封井回收系统^[1]。与仅仅聚焦于井喷预防的装备不同,油井应急封井回收系统更侧重于失控井的处置。一套典型的海上油井封井回收系统主要功能包括:封闭井口,输送溢油分散剂和水合物抑制剂,油气收集、传输、处理、储存和卸载等。

1.1 MWCC 公司水下应急封井回收系统

MWCS 系统是由埃克森美孚、雪佛龙、荷兰皇家壳牌有限公司和康菲石油公司等组建的 MWCC 公司设计、建造、运营的一套应对水下井喷失控的快速反应系统。

MWCC 公司组建于 2011 年,墨西哥湾所有油

气作业者公司都有机会参加,系统向会员公司和非会员提供服务,会员公司在墨西哥湾都有深水钻井作业项目,每个会员公司权利和义务相同,平均分摊超过 10 亿美元的费用。非会员加入需要与 MWCC 签署协议,MWCC 按照钻井数量收取用于支持系统发展和维护的费用。

MWCS 系统包括数艘油气收集船只和一整套水下封井回收设备,类似于英国石油公司在深水地平线钻井平台爆炸倾覆后三个月的反复试验中所开发出来的一套系统。该系统可以收集并控制海面以下 3000 m 深处每日至多 10 万桶石油的泄漏。MWCS 系统如图 1 所示,设计一个封井器密封井喷井并收集从井喷井中流出的油气,而不增加井口压力,避免进一步损坏井筒完整性。

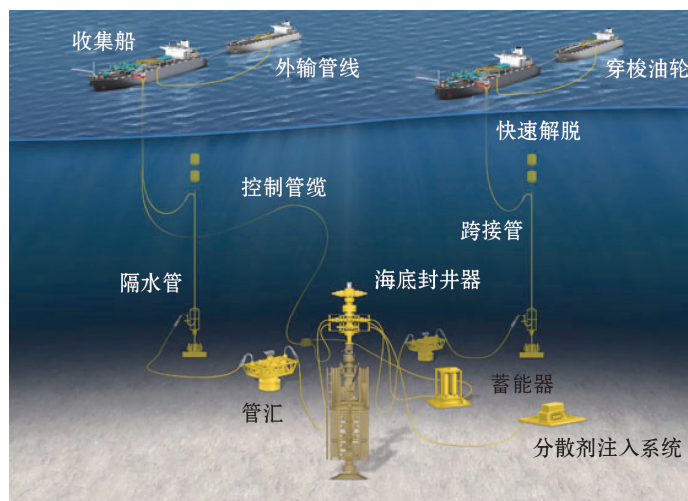


图 1 MWCS 系统示意图

Fig. 1 Typical Marine Well Containment System

一套海上油井封井回收系统包括:海底系统,管线、立管、脐带缆、管汇,模块化收集船或收集船只,模块化舷或干舷。其中海底系统又包括封井装置、海底工具包(比如损毁设备切割和拆卸)、海底分散剂和水合物抑制剂传输系统、水下液压动力单元 (HPU) 以及海底部署/运行工具。

海底井口附近溢油分散剂的应用也是系统作业之一部分,为海面作业人员和溢油的加强降解创造一个安全的作业环境。海底溢油分散剂工具包包括分散剂的喷洒臂、相关的管汇和鹅颈管以及残损清理设备(切割、抓钩、拖拉工具),已达到能与防喷器 (BOP) 连接。

如果油井不能被关闭,封盖组块能够收集流体,

并重新将流体通过隔水管和柔性跨接管输送到海面工作船。海面工作船为浮式生产储油卸油船 (FPSO)、生产测试船或储油轮。海面工作船通常提前预建处理模块,有些设备在事故发生后由 MWCC 提供,快速部署安装。

1.2 Helix 公司的快速响应系统

在处理 BP Macondo 事故的过程中,Helix 公司参与了应急救援的顶部压井、应急封井、溢油回收等作业。事故后 Helix 在此基础上组建了一套全方位快速封井回收系统,如图 2 所示。墨西哥湾的 Anadarko、ENI、Statoil、Walter 等 24 个深水能源公司与 Helix 公司签订了应急救援服务合同。

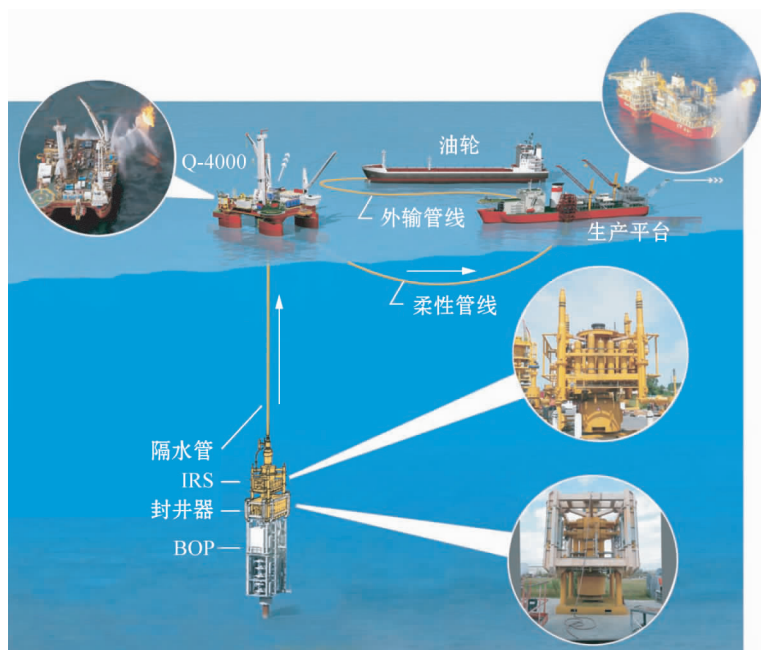


图2 HFRS系统示意图

Fig. 2 Typical Helix Fast Response System

HFRS系统包括:(1)海面支持船,即Q-4000平台、生产储油轮HP-1、存储驳船[Hornbeck Offshore Services (HOS)公司];(2)水中回收管柱,是由6-5/8英寸(1英寸=2.54 cm)Q125套管组成的管柱;(3)水下应急封井装置,由封井装置和修井隔水管系统(IRS)组成。

Helix快速响应系统的作业流程如下:

(1)动用飞机和 underwater 机器人(ROV)船进行井位和海底监测,确定作业环境风险。

(2)动用专用的船只用连续油管喷洒溢油分散剂。

(3)动员专门的救援船只和ROV进行杂物清理;移除隔水管,确保能够垂直操作隔水管下部总成

(LMRP)。

(4)动员专用的应急船只进行井口控制系统修理(IWOCS)作业,包括安装液压站、回接装置甲醇、移除破损管线和装置以及连接海底电缆。

(5)用Q-4000平台进行LMRP回收作业。

(6)用Q-4000平台进行井口封盖作业:用6-5/8英寸钻柱下入水下应急封井装置,启动防喷器盲板。

(7)用Q-4000平台进行压井作业。

(8)循环和收集作业,采用Q-4000平台、生产储油轮HP-1、存储驳船HOS将从井筒返出的油气处理回收,如图3所示。

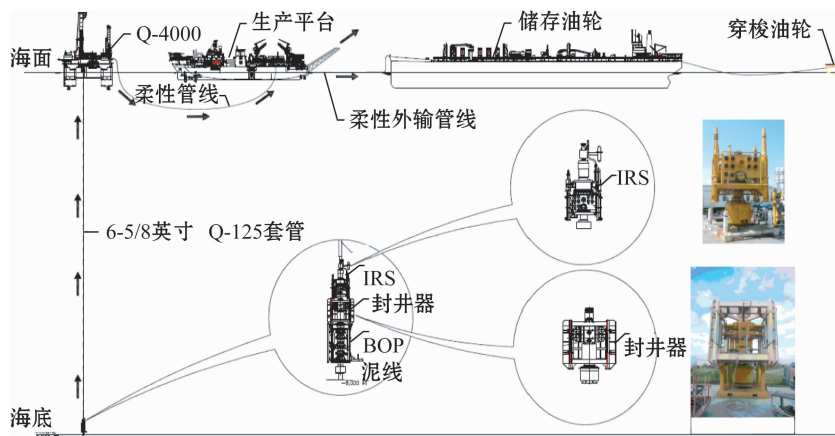


图3 HFRS系统循环和收集作业

Fig. 3 Flow and capture operation of HFRS system

与 HFRS 系统相比, MWCS 系统更为复杂, 处理能力更高。两套系统的主要性能参数对比如表 1 所示。

表 1 HFRS 与 MWCS 性能参数对比表

Table 1 Comparison between HFRS and MWCS parameters

参 数	MWCS	HFRS
设计水深/m	150~3 000	150~3 000
封井装置设计关井 井口压力/MPa	102	102
流体处理能力/BPD	1×10^5	6×10^4
气体处理能力 /MMcfd	200	80

注: BPD 即“桶每日”; MMcfd 即“百万立方英尺每日”。

2 水下应急封井装置

水下应急封井装置(简称“封井器”)作为水下油井封井回收系统中最核心的装备, 控制水下井口正常开启。其主要功能有: 关井和作为井筒接口, 将井筒的流体输送到海面出口, 通过海面作业船向井筒输入流体, 提供井筒干预手段。

封井器组件主要包括连接器、管柱、阀和 BOP

等。封井器被看做是水下采油树和 BOP 的组合。因此, 封井器是取得海上钻井、修井作业许可证的必备条件。

各公司研发的封井器结构形式都不大相同, 典型封井器如图 4 所示, 主要元件包括井口连接器、闸阀、节流、闸板、再进入连接器、面板、框架、转化接头和连接管线。

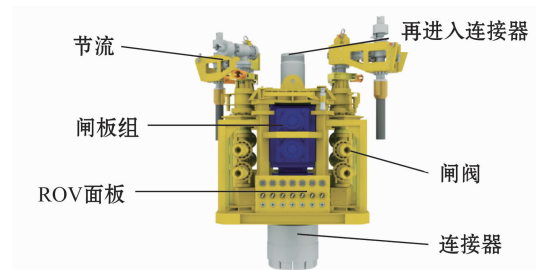


图 4 封井器示意图

Fig. 4 Major components of capping stack

如表 2 所示^[2-4], 目前行业有 7 家公司(组织)设计了至少 14 种 16 套系统。很明显, 封井装置技术服务正在成长为一个行业。目前封井装置的主要制造商为 Trendsetter Engineering 和 Cameron。

表 2 各家公司/组织的设备型号及基本信息表

Table 2 List of capping stacks

编号	公司(组织)	规格	部署位置	服务区域	设备制造商	数量
1	MWCC	102 MPa	美国休斯敦	墨西哥湾	Trendsetter	1
		70 MPa	美国休斯敦	墨西哥湾	Trendsetter	1
		102 MPa	美国休斯敦	墨西哥湾	Aker Solutions	1
2	HWCG	102 MPa	美国休斯敦	墨西哥湾	Trendsetter	1
		70 MPa	美国休斯敦	墨西哥湾	Helix	1
3	SWRP	102 MPa, 可快速远程运输	巴西、挪威、新加坡和南非	全球(美国除外)	Trendsetter	2
		70 MPa, 可快速远程运输	巴西、挪威、新加坡和南非	全球(美国除外)	Trendsetter	2
4	Shell	70 MPa	美国阿拉斯加	美国阿拉斯加	Trendsetter	1
		70 MPa, 可快速远程运输	苏格兰阿伯丁	北海	Cameron	1
		102 MPa, 可快速远程运输	新加坡	亚洲	Cameron	1
5	OSPRAG	102 MPa	苏格兰阿伯丁	北海	Cameron	1
6	WWC	102 MPa, 可快速远程运输	苏格兰阿伯丁	全球	Cameron	1
7	BP	102 MPa, 可快速远程运输	美国休斯敦	墨西哥湾	Cameron	1
		102 MPa, 可快速远程运输	安哥拉	西非	Cameron	1

3 结束语

(1) 分析了在海洋深水钻井中,油井从井喷失控到发生平台倾覆的过程,总结了国际上现有的几套水下油井封井回收系统以及系统中最核心的装备——封井器的研发进展,给出封井器的参数、结构形式以及目前的部署地点信息等,为制定应急救援方案提供参考。

(2) 根据国外水下油井封井回收系统建设成功的经验和成熟的运营模式,建议我国建设应急救援水下油井封井回收系统分“三步走”:首先由油气公司牵头进行总体方案设计;然后由专业的设备加工制造企业完成关键装备研制;最后由专业的服务公司承担商业化运营。

(3) 当前我国在深水应急救援技术研究方面刚刚开始,建议技术研发按照“顶层设计、总体规划、分步实施”的策略进行。从系统技术方案和关键作业

技术入手,开展系统关键设备水下应急封井装置(封井器)研制,逐渐完善系统和配套技术,逐步形成我国的应急救援工业技术体系,为我国海上深水油气开发提供安全保障。

参 考 文 献

- [1] US Government Accountability Office. Oil and gas: interior has strengthened its oversight of subsea well containment, but should improve its documentation[OL]. <http://www.gao.gov/products/GAO-12-244>, 2012-02-29.
- [2] Chen J, Li X, Xie W, et al. Capping stack: an industry in the making[J]. Engineering Sciences, 2013, 11(4): 17.
- [3] Rassenfoss S. Deepwater spill control devices go global[J]. J Petroleum Technology, 2012, 64(7): 48.
- [4] International Association of Oil & Gas Producers (OGP). Capping and containment: Global Industry Response Group recommendations[OL]. <http://publications.ogp.org.uk/?committeeid=41>, Report No. 464, 2011-05-01.

• 书 讯 •

《海洋平台随机动力响应分析方法及智能控制技术》简介

嵇春艳 著

上海交通大学出版社出版

定价:68.00 元

“十二五”国家重点图书
船舶与海洋出版工程

内容提要:

本书系统介绍随机波浪作用下,海洋平台动力响应分析方法及智能控制技术的相关理论、数值仿真方法及模型试验技术。全书包括随机波浪荷载及数值仿真方法、海洋平台随机动力响应分析、智能控制基本理论、海洋平台智能控制系统设计方法、海洋平台智能控制技术应用实例分析、海洋平台振动控制模型试验设计原理、导管架海洋平台振动模型试验研究、自升式海洋平台振动控制模型试验研究等内容。

本书可供从事海洋平台动力特性分析与校核、海洋平台减振设计的工作人员参考,也可作为高等院校船舶与海洋工程、海洋工程与技术、土木工程等专业高年级本科生和研究生的教学用书,对广大从事动力学、振动控制技术的科研人员也有较大的参考价值。

海洋平台随机动力响应 分析方法及智能控制技术

