

水下生产控制系统的电力载波通信综述

左 信¹, 胡意茹¹, 王 珏², 朱春丽², 田 佳²

[1. 中国石油大学(北京)自动化系, 北京 102249; 2. 中海油研究总院, 北京 100027]

摘要 目前水下生产系统已经成为开发海洋油气资源的主流模式,其中水下生产控制系统是水下生产系统的关键组成部分。水下电力载波通信作为水下生产控制系统的主要通信方式之一,其发展水平直接影响油气田开发的安全稳定和成本。首先介绍了水下复合电液控制系统中电力载波通信的基本原理,总结了国际标准化技术委员会 ISO/TC 67、智能井接口标准(IWIS)和水下仪器接口标准(SIIS)等组织对水下电力载波通信技术的促进作用。其次,从传输速率、通信距离等技术指标的角度,回顾了各水下项目中电力载波通信技术的发展历史。最后,从脐带缆电缆特殊性、系统拓扑结构不确定性和水下增压设备电磁干扰等方面分析了水下环境为电力载波技术带来的特殊挑战。

关键词 海洋油气资源开发; 水下生产控制系统; 复合电液控制; 水下电力载波通信; 智能井接口标准

中图分类号 TN929.3

文献标志码 A

文章编号 2095-7297(2014)01-0084-07

Power Line Communication of Subsea Production Control System: a Review

ZUO Xin¹, HU Yi-ru¹, WANG Jue², ZHU Chun-li², TIAN Jia²

(1. Department of Automation, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract Nowadays subsea production system has been the mainstream mode of subsea oil and gas exploitation, of which the subsea control system is the most important part. As one of the main communication methods of subsea control system, subsea power line communication has a direct influence on the safety and cost of the subsea oil and gas exploitation. Firstly, the principles of power line communication in subsea electro/hydraulic control system are introduced, and the promotions from organizations like ISO/TC 67, Intelligent Well Interface Standardization (IWIS) and Subsea Instrumentation Interface Standardization (SIIS) are summarized. Secondly, the application history of power line communication in world's subsea projects is reviewed from the aspects of transmission rate, communication distance and modulation method, etc. Lastly, considering the unique characteristics of umbilical power line, uncertain system topological configuration and electromagnetic interference from subsea boost pump, special challenges that the power line communication technology faces due to subsea environment are analyzed.

Key words subsea oil and gas exploitation; subsea production control system; electro/hydraulic control; subsea power line communication; Intelligent Well Interface Standardization

0 引言

自1947年美国科麦奇公司在墨西哥湾水域成功实施世界第一口水下完井作业以来^[1],随着科学技术的进步和人类对海洋石油资源认知水平的不断提高,海洋油气勘探开发从浅海海域逐渐向中深海

域(100~500 m)、深海(500~1 500 m)甚至超深海(1 500 m以上)发展^[2]。相比于陆上石油开采,海洋石油开采更加复杂,需要达到的技术水平也更高。水下生产系统以其显著的技术优势和可观的经济效益得到广泛关注和应用,已经成为开发海洋油气资源的主流模式,具有广阔的发展前景,并将主导未来

收稿日期:2014-02-21

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05026-003-01)

作者简介:左信(1964—),男,教授,主要从事海洋油气生产测量与控制及过程控制系统和安全保护控制系统的可靠性分析方面的研究。

海洋油气资源的开发。水下生产系统通过水下井口、水下采油树、跨接管、水下管汇或水下分离增压设备等,将油气井生产的油气混合物送至较远的处理平台或岸上油气处理厂,实现海上油气田的开发,特别适用于深水、超深水、恶劣海况或离岸较远的油气田的开发。

水下生产控制系统是水下生产系统的重要组成部分。它实时采集油气藏的生产数据,监测水下生产系统的工作状况,对异常情况进行监控、报警,从而保证海洋油气田长期、稳定、安全地生产。水下生产控制系统的发展经历了直接液压控制、先导液压控制、顺序液压控制、直接电液控制和复合电液控制等几个重要阶段^[3]。其中复合电液控制是目前的主流控制方式,尤其适用于深水、大型油气田的开发。20世纪末,国外几家主流的水下装备供应商开始研发水下全电控制技术^[4-6]。此外,为满足边际油田的开发需求,又相继提出了水下自治控制系统和集成浮漂控制系统^[3]。

稳定可靠的通信是水下生产状态信息准确采集、传输,海上石油、天然气安全生产的前提和保障。水下通信系统已经成为影响油气田开发成本和水下控制系统使用周期的关键因素。根据信号传播方式的不同,水上与水下设备之间的通信可以分为有线通信和无线通信。按照信号是否需要在脐带缆中敷设独立的通信线缆,水下有线通信又可以分为光纤通信和电力载波通信^[7]。无线通信则主要包括声纳通信和微波扩频通信^[7-8],卫星通信也已经成为平台与平台、平台与陆地终端之间的主要通信方式。

电力载波通信技术由于将信号直接加载到电力传输线上,可以实现电力与通信数据同线传输,能极大地减小脐带缆的横截面积、减轻脐带缆的重量,从而延长了铺设距离、节约了成本,因此获得行业的广泛关注和发展,已经成为水下生产控制系统的主要通信方式之一。

1 水下控制系统的电力载波通信基本原理

1.1 复合电液控制系统

随着深水油气田的大范围开发,油气田区块呈现开发范围大、开发环境温度低、产出液温度/压力高、不同井口流体温度压力差异大等特点。此外,同一井口不同生产阶段的流体特性也不尽相同,并且深水维修安装作业费用高。直接液压控制、先导液压控制、顺序液压控制和直接电液控制系统使用受限,开发深水资源面临新的挑战。为更好地满足深水大区块油气田开发的控制要求,复合电液控制系统应运而生。它采用先进的数字复用技术,实现了真正的遥测和遥控,为智能化综合管理提供了可能。

复合电液控制系统的水上设备有液压动力单元、电力单元、不间断单元、主控站和水上脐带缆终端等。水下设备包括脐带缆、水下控制模块(SCM)、水下分配单元(SDU)、电力飞线和液压飞线等^[9]。图1为水下复合电液控制系统工作原理示意图。主控站通过脐带缆控制安装在水下采油树或管汇上的水下控制模块,实现上行生产数据采集和

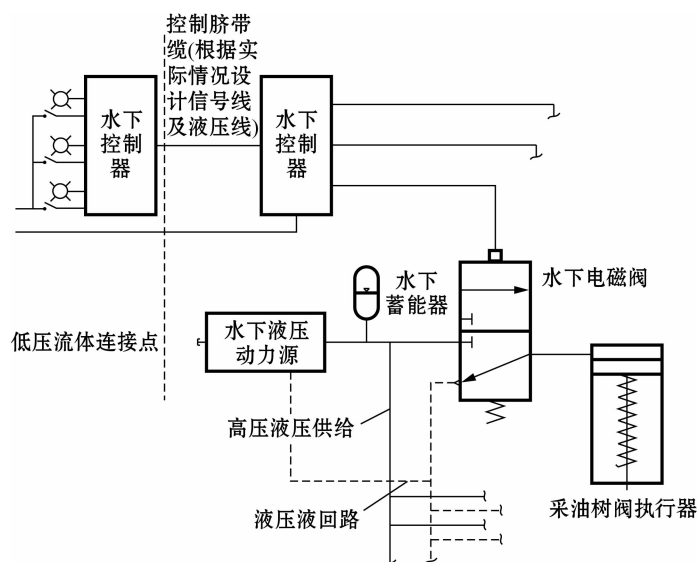


图1 水下复合电液控制系统工作原理示意图

Fig 1 Schematic diagram of subsea electro/hydraulic control system

下行控制信号传输。水下控制模块的上行信号用于遥测大量水下数据如压力、温度、阀门状态等,下行信号则用于快速地控制水下电磁执行机构,这些电磁执行机构又进一步将液压放大驱动液压阀门和油嘴。复合电液控制系统采用多路电气控制技术,减少了导线数量,简化了水下电路连接,大大降低了控制脐带缆成本,具有控制距离长、功能灵活、反应时间短、安全事故处理能力强、水下控制设备和水上监控系统可以实现实时双向通信等特点,特别适用于深水大型油气田多井项目的开发^[10]。

水下控制模块内部具有就地处理数据的水下电子模块(SEM)。这使得水下控制模块的监控对象更加广泛,包括水下采油树、水下管汇、管汇终端、井下安全阀、水下增压设备和水下分离设备等;监测参数更加复杂,包括液压控制压力、调节阀阀位、化学药剂注入流量和压力、井口油气温度和压力、井下温度和压力、油气含砂量、泄漏位置、清管通球位置和设备运行状态等。一个水下控制模块也可以控制多个水下设备,如多个水下采油树共用一个SCM或者水下采油树与管汇共用一个SCM^[11]。

大量生产数据和控制信号的上行和下传,必将对水下生产控制系统的通信距离、通信速率和通信性能提出更高要求。全液压生产控制系统在脐带缆中采用独立的通信和电力传输电缆的方式,结构复杂,脐带缆重量增加,通信性能指标已不能满足实际生产需要。电力载波通信凭借其无需在脐带缆中单独敷设通信线缆,能极大地节约成本和空间的优势,于20世纪80年代被首次应用于水下通信,并成为此后二十多年的主要水下生产通信方式之一^[12]。

1.2 水下电力载波通信基本原理

电力线载波通信是采用电力线传输数据的一种通信方式,它将载有信息的高频信号加载到电力线上,用电力线进行数据传输,通过专用的电力线调制/解调器将高频信号从电力线上分离出来,传送到终端设备。电力载波通信借助电力线作为通信介质,无需另外敷设专门的通信通道,节约成本且适合远程传输,因此该技术在近百年时间里取得了巨大突破和进展,广泛应用于电力公司营运及电力用户管理、电信及信息服务、自动控制及智能家居等方面^[13-16]。常规电力载波通信技术的成熟为水下生产控制系统通信提供了新的思路,开辟了性能更加优良的通信方式。复合电液控制系统的迅速发展和成熟应用,也为电力载波系统的水下应用提供了前

提和基础。

水下电力载波通信系统采用脐带缆中的电力配送电缆作为通信介质,水上水下载波机分别位于水上电力/通信单元(SPCU)和水下控制模块中。目前,水下电力载波机主要依据欧洲电工委员会(CENELEC)发布的EN50065标准,在低压分配网络(LVDN)通过脐带缆中电力线进行数据收发通信,信号频率范围3~148.5 kHz^[17]。

水下电力载波通信工作过程包括主控站(MCS)系统下发控制指令和从站上传数据两个阶段。图2是一个典型的复合电液控制系统的电力载波通信原理示意图。一方面,来自主控站的控制信号经过水上电力/通信单元调制后耦合到脐带缆中的电力电缆上。调制信号经控制脐带缆中的电力线传输至水下分配单元后,随电力分配传输至安装在采油树或管汇上的多个SCM,由SCM将信号解耦解调,从而实现电力和信号的下送。水下控制模块与出油管压力/温度传感器、井口压力/温度传感器及环形空间压力传感器等远端设备相连,通过SCM内部基于微处理器的水下电子模块,实现对温度、压力的监控以及对水下阀门的操作。另一方面,水下控制模块也可对水下采油树及井口的压力、温度等过程参数信号进行编码后调制耦合到电力线上实现上传。主控站接收经SPCU解耦解调后的信号,实现对整个水下生产过程的数据采集和状态监视。

常规电力载波通信技术和复合电液控制系统的成熟发展使得水下电力载波通信成为可能,而一系列标准化委员会的成立和相关水下通信标准的发布则将该技术推向了高潮。面对市场上多达几十家的装备提供商,高昂的设备定制费用和耗时的供货周期使人们逐渐意识到标准化的接口和仪器将有利于提高设备的互换性、简化设计与采购、降低运营成本、提高营业效率和增强技术完整性^[18-19]。此外,如何将前景广阔的智能井技术与水下生产控制系统相结合,使之服务于水下石油开采,成为油气田经营方、水下控制系统提供商和智能井设备提供商热议的话题^[20-22]。

ISO/TC 67技术委员会下属钻井和生产设备分会SC4制定的《ISO 13628-6:2006 水下生产控制系统》^[23]标准规定通信协议应基于IEC 60870-5^[24]以及同等的国际标准。此外由水下技术顾问(OTM)公司管理,各石油运营商和提供商组成的一系列标准化委员会也应运而生^[25]。其中,智能井接口标准(IWIS)致力于“通过提供电力/通信结构和

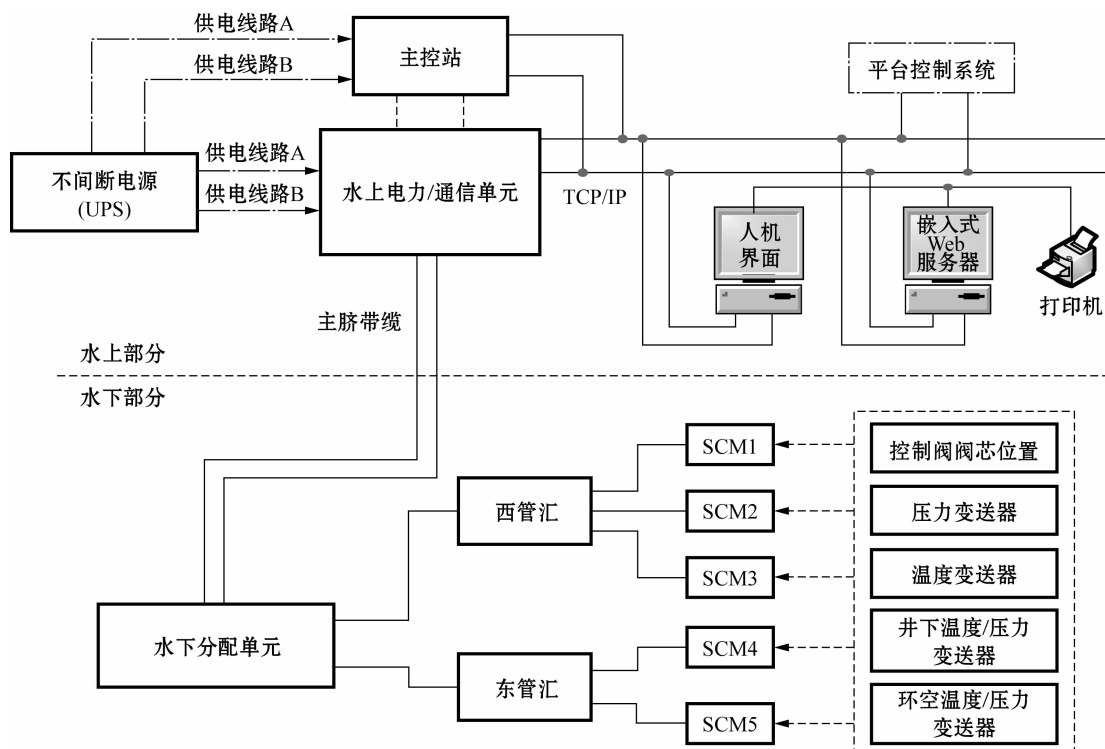


图2 复合电液控制系统电力载波通信原理图

Fig 2 Schematic diagram of power line communication in electro/hydraulic control system

其他相关硬件要求的推荐规范/标准,促进井下电力/通信架构与水下控制系统整合”^[26-27];水下仪器接口标准(SIIS)则专注于水下传感器与水下控制系统接口的标准化^[28-29]。IWIS 和 SIIS 的建议做法直接或间接影响 ISO 13628-6 标准的制定,并从现场实际应用角度对相关标准不断补充完善,共同推进海洋石油工业的进步^[27-30]。

2 发展历史

早期的水下电力线通信技术受水下控制系统发展水平的制约,主要用于水下生产数据的采集,不具有传输控制信号的功能,应用十分有限。1985年,西班牙 Eniepsa Casablanca 11 项目首先将电力载波通信技术应用用于水下生产^[12]。该项目中 Hughes Offshore 公司提供的数据采集系统,将数据信号加载到直流电力双绞线上,实现了油井数据的电力载波传输,通信距离为 7.4 km。1986 年,印度 ONGC 公司在 BombayHigh 水下项目中采用 Vetco Gray 公司的数据采集系统。该系统在同轴电缆上实现了 7~10 kHz 数据信号与 60 Hz 电力的同线传输,传输距离约 10 km^[12]。上述两个项目的水下控制系统分别为先导液压控制和直接液压控制。这两种早

期的水下生产控制系统直接导致对水下采油树的生产控制仍然采用液压控制方式,即此时脐带缆中的电力线仅实现了数据采集的载波通信,没有控制功能,生产控制和数据采集仍然采用不同的线缆。

水下电力载波技术于 1989 年在挪威北海的 Troll Oseberg Gas Injection (TOGI)项目中取得了控制信号与生产数据同线传输的突破性进展。该项目在当时面临 48 km 传输距离、305 m 水深的新挑战。TOGI 水下生产系统采用复合电液控制^[31],为油井数据与控制信号的同线传输提供了条件。VetcoGray 公司在四芯电缆上将 1800 Hz 的四相移键控(QPSK)调制信号加载到 60 Hz 电力线,在同一线缆上实现了半双工水下控制和数据读取功能,传输距离达 50 km,传输速率为 1.2 kb/s^[32]。该技术的成功应用简化了原系统繁琐的布线方式,通信性能也得到大幅提高。

随着开采范围向更深更远水域发展,水下设备的复杂程度和对水下数据的需求量也相应增加。这对水下控制的数据处理、通信、电力和液压供应提出了更高的要求。各水下装备供应商也不断改进各自的水下控制系统通信性能以适应新的发展需要。Cameron 公司电力载波通信速率可达 9.6 kb/s,传

输距离 65 km^[33]。Weatherford 公司的开放式通信控制器(OCC)集电力载波、控制和故障诊断能力于一体,通信速率达 390 kb/s,传输距离实现 100 km 无中继,可选电力线频率范围 50~630 kHz^[34]。FMC 公司作为世界最大的深水装备供应商之一,目前 SCM600 电力载波通信已实现 56 kb/s 的传输速率和 250 km 的传输距离^[35]。此外,FMC 公司的三代 KOS 控制系统在一定程度上反映了水下电力载波技术的发展进程^[36]。KOS 100(1991 年)、KOS 150(1994 年)和 KOS 200(2003 年)是 FMC 公司为满足不断提高的通信速率、电力和脐带缆长度的要求而研发的三代电力载波通信系统。

KOS 100 和 KOS 150 均采用半双工频移键控(FSK)调制,通信速率分别可达 1.2 kb/s 和 4.8 kb/s。这两代系统的调制方法较简单,有效可靠但频带利用率较低。KOS 200 系统的 Long-Speed 电力载波机可根据信道性能自动选择最快传输速率,发送和接收信号的动态范围高达 60 dB,滤波器参数可自动调节以适应电缆特性。6 路信道均采用全双工模式连续平行传输,电缆间串扰衰减最小为 40 dB。每个载波机中都有数字信号处理器(DSP),采用幅度和相位相结合的调制方式以得到较高的传输速率,最高可达 33.6 kBd。通过安装相应的软件或程序,数字载波机可以满足不同的要求。采用低频范围的信道或降低数据传输速率均可以提高通信距离,KOS 200 在 10 mm² 电缆上通信距离可达 60 km^[37]。

正交频分复用(OFDM)调制方法和现场可编程门阵列(FPGA)分别为通信和现代数字系统设计领域带来了革命性的变化^[38-39]。这些技术进步为水下电力载波通信发展提供了强有力的技术支撑。2009 年和 2010 年,Horten 等^[40-42]成功地将 OFDM 和 FPGA 技术应用于水下电力载波通信,并就相关核心技术申请了美国国家专利。专利中,FPGA 取代此前数字载波机常用的数字信号处理芯片,OFDM 取代常规的频移键控调制,成为主要的处理芯片和调制方式。OFDM 是一种特殊的多载波传输方式,采用多个正交子载波并行传输数据,具有频带利用率高、抗噪声和多径衰落能力强等优点^[43]。FPGA 逻辑器件则以其高集成度、高可靠性和强大的运算能力为高速宽带通信系统的实现提供了硬件保障^[44]。这些新技术使得水下电力载波通信实现了 200 km 无中继传输,数据传输速率高达 3 Mb/s。

3 水下电力载波技术特殊挑战

电力线的基本用途是电能供给,当作为通信介质时,它有着与其他专用的通信介质完全不同的信道特性。电力线具有随频率而变的动态阻抗特性;频率特性方面,受介质材质和形状的影响,电力线具有较窄的载波频率;噪声特性方面,因各类电力负荷发出的脉冲干扰和谐波干扰,电力线具有随时间和频率而变的动态噪声特性^[16,45-46]。水下电力载波通信既要克服上述常规技术难题,还需要应对水下恶劣环境给通信带来的诸多特殊挑战。

首先,输电电缆的几何形状、配置和所选材料均会对信号衰减产生影响^[36]。在水下特殊环境中,输电电缆和液压软管、化学药剂软管共同位于复合控制脐带缆中,电缆和节点之间采用水下湿式接头连接。由于水下电缆或脐带缆采取“按订单生产策略”,所以在通信系统设计阶段无法获取有关电缆的详细数据。此外 IEC 标准中规定电力线应基于三相对称电压和负载,而脐带缆中电力线为单相。这些都给水下电力载波通信增加了难度^[17,36]。

水下生产系统的拓扑结构也是影响水下电力载波通信的一大因素。水下控制模块的数量及其与分配系统的连接顺序不是预先设定好的;随着油田开发的扩张,SCM 的数量会增加,SCM 之间的准确距离一般直到开始钻井时才能最终确定。一些案例中,井的位置也许还会随着油藏模型的变化而作出很大调整。此外,任何一个阀门的开关都可能改变网络的拓扑结构。因此,信道的电参数随时间、地点变化,相应地输入阻抗也往往随之变化,从而给通信系统的设计带来相当大的困难^[36]。因此,设计通信系统时应考虑目前和将来可能的系统负载与拓扑结构。

此外,大功率变频电动机(如电动多相泵等水下生产流体增压、回注设备)产生的强大电磁干扰^[47]、导体横截面积、脐带缆绝缘性能好坏等众多因素^[36],都会对水下电力载波通信性能产生较大影响。

4 结束语

电力线载波通信技术应用于水下石油开采行业二十余年,被证明是一项可靠经济的通信手段。常规电力载波通信技术的成熟和水下生产复合电液控制系统的投入使用使水下电力载波通信成为可能。由油气田经营方、水下控制系统提供商和智能井设

备提供商等组成的标准化组织的成立和相关水下通信标准的发布则将水下电力载波通信技术推向了新的高潮。通过克服脐带缆中输电电缆的特殊性、水下拓扑结构不确定、水下湿式接头引发的信号衰减以及水下增压设备造成的电磁干扰等一系列技术难题,不断引入最新的科技手段,水下电力载波技术向着更快传输速率和更长通信距离的方向不断发展完善。值得一提的是,随着海洋油气开采向超深水、边际油田发展,仪器设备越来越复杂,对信息的需求越来越大,水下光纤通信技术正凭借其抗电磁干扰能力强、可靠性高、传输速率快、传输距离远等优点,成为一项新兴的具有发展前景的水下通信技术。

参 考 文 献

- [1] Burleson C W. Deep challenge: our quest for energy beneath the sea[M]. Houston: Gulf Professional Company, 1999.
- [2] Bai Y, Bai Q. Subsea engineering handbook[M]. Waltham: Gulf Professional Publishing, 2012.
- [3] 范亚民. 水下生产控制系统的发展[J]. 石油机械, 2012, 40(7): 45.
- [4] Jernström T L, Sangesland S, Anders H. An all-electric system for subsea well control[C]. OTC, 1993: 7335.
- [5] Rivenbark M, Khater S, Dietz W, et al. An innovative all electric well production system[C]. SPE, 2001: 67244.
- [6] Abicht D, Van Den Akker J. The 2nd generation DC all-electric subsea production control system [C]. OTC, 2011: 21300.
- [7] 海洋石油工程设计指南编委会. 海洋石油工程电器、仪控、通信设计[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
- [8] Kenny T. Reliable wideband acoustic communication links in critical subsea control and monitoring applications [C]. Subsea Control and Data Acquisition, 2010: SUT-SCADA-10-89.
- [9] Lockheed E W, Phillips R. A high integrity electrohydraulic subsea production control system[C]. OTC, 1979: 3357.
- [10] 海洋石油工程设计指南编委会. 海洋石油工程深水油气田开发技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011.
- [11] Stair M A, Clark G R, White J. Zinc project: overview of the subsea control system[C]. OTC, 1993: 7285.
- [12] Blankenship H C, Marosko R J. Improved signal-on power technique[C]. OTC, 1993: 7255.
- [13] Ferreira H C, Grové H M, Hooijen O, et al. Power line communications: an overview [C]. IEEE 4th AFRICON, 1996: 558.
- [14] Yousuf M S, El-Shafei M. Power line communication: an overview. Part I [C]. 4th International Conference on Innovations in Information Technology, 2007: 218.
- [15] 黄荣辉, 周明天, 曾家智. 电力线通讯技术研究述评[J]. 计算机科学, 2000, 27(4): 85.
- [16] 杨刚. 电力线通信技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [17] Yazdani J, Glanville K, Clarke P. Modelling, developing and implementing sub-sea power-line communication networks [C]. 2005 International Symposium on Power Line Communications and Its Applications, 2005: 310.
- [18] Reeve N. 国际标准用户协会 (IFAN) 中外标准应用: 石油天然气公司对国际标准的应用[R]. 北京, 2006.
- [19] Windsor R, Arne N P. A move towards subsea control system standardisation? [C]. Subsea Control and Data Acquisition, 1994: SUT-AUTOE-v32-027.
- [20] 阮臣良, 朱和明, 冯丽莹. 国外智能完井技术介绍[J]. 石油机械, 2011, 39(3): 82.
- [21] Gao C, Rajeswaran T, Nakagawa E. A literature review on smart-well technology[C]. SPE, 2007: 106011.
- [22] 刘均荣, 姚军, 张凯. 智能井技术现状与展望[J]. 油气钻采工程, 2007, 14(6): 107.
- [23] International Organization for Standardization. Petroleum and natural gas industries—design and operation of subsea production systems. Part 6. Subsea production control systems [S]. ISO 13628-6:2006, 2006.
- [24] International Electrotechnical Commission. IEC 60870-5-1 Transmission frame formats; IEC 60870-5-2 Data link transmission services; IEC 60870-5-3 General structure of application data [S]. IEC 60870-5, 1990.
- [25] OTM Consulting Ltd. OTM managed JIPs [OL]. <http://www.otmnet.com/links.asp?id=8>.
- [26] OTM Consulting Ltd. Standard introduction to IWIS [OL]. http://www.iwis-jip.com/download2.asp?filename=Standard_Introduction_to_IWIS_PJ_Feb04.pdf.
- [27] OTM Consulting Ltd. IWIS recommended practice [OL]. http://www.iwis-jip.com/docs/IWIS-RP-A2-Master_Apr_2011.pdf.
- [28] OTM Consulting Ltd. Welcome to the SIIS website [OL]. <http://www.siiis-jip.com/index.asp>.
- [29] OTM Consulting Ltd. Background [OL]. <http://www.siiis-jip.com/background.asp>.
- [30] SIIS JIP. SIIS key fact sheet [OL]. http://www.siiis-jip.com/publicdocs/SIIS_Key_Fact_Sheet_Dec11.pdf.
- [31] Nilsen P A. TOGI production control system challenges and experiences [C]. OTC, 1991: 6671.
- [32] Grimseth T. Unique features of TOGI control and monitoring systems [C]. Subsea Control and Data Acquisition, 1990: SUT-AUTOE-v22-109.
- [33] Cameron. Production control systems [OL]. http://www.firmenkontaktmesse-magdeburg.de/Download/Firmenprospekt/2012_99_20120925110502.pdf.
- [34] Weatherford. Subsea production control and communication [OL]. http://www.ep-solutions.com/solutions/WC_Subsea_Control_Systems.htm.
- [35] FMC Technologies. SCM600 [OL]. http://www.fmctechnologies.com/en/SubseaSystems/Technologies/Subsea_ProductionSystems/ControlSystems/TreeControls/SCM600.aspx.

- [36] Corneliussen S. Communication on power lines—constraints and experience[C]. Subsea Control and Data Acquisition, 2004; 217.
- [37] Corneliussen S. KOS 200, the subsea control system for the millenium [C]. Subsea Controls and Data Acquisition, 2002; SUT-SCADA-02-111.
- [38] Suma M N, Kanmani B. Developments in orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) system—a survey [C]. 2011 Second Asian Himalayas International Conference on Internet (AH-ICI), 2011.
- [39] Awad M. FPGA supercomputing platforms: a survey[C]. International Conference on Field Programmable Logic and Applications, 2009; 564.
- [40] Horten V, Steign V. Modem, in particular for subsea power line communication; Europe, EP2044824 B1 [P]. 2012-02-01.
- [41] Brekke E, Horten V, Steign V. Method and modem for subsea power line communication; US, 8199798 B2 [P]. 2012-06-12.
- [42] Hesbol S, Horten V, Steign V. Power line communication device for subsea well; World, WO 2008011891 A1 [P]. 2008-01-31.
- [43] 张力军, 钱学荣, 张宗橙, 等. 通信原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [44] 黄智伟, 王彦. FPGA 系统设计与实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [45] Pavlidou N, Vinck A J H, Yazdani J, et al. Power line communications: state of the art and future trends[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(4): 34.
- [46] Majumder A, Caffery J. Power line communications: an overview[J]. IEEE Potentials Magazine, 2004, 23(4): 4.
- [47] High G, Wright P J. Subsea fibre optic communications for production control and data acquisition [C]. OTC, 1996; 8167.

• 征订启事 •

《海洋工程装备与技术》征订启事

《海洋工程装备与技术》是由上海交通大学主管、上海交通大学出版社主办的综合性学术刊物。本刊以介绍我国海洋工程装备方面的研究、设计、实验、生产、使用和管理等方面的成果以及学术动态为宗旨。本刊主要读者对象为海洋工程装备研究与技术从业人员。2014 年本刊为季刊,将出版 4 期。

《海洋工程装备与技术》征订单存根(复印有效)

单期定价	50 元	年定价	200 元
订阅期号	○1 ○2 ○3 ○4	订阅份数	
	□ 2014 年全年		
合计金额		汇款日期	
订阅单位			
收件地址			
收件人		收件人电话	

订阅者请先通过电子邮件或电话与编辑部联系。

汇款方式:

开户行:中国工商银行上海华山路支行

账号:1001271509004604749

户名:上海交通大学出版社有限公司

汇款后请将存根填写完整,传真至编辑部。

《海洋工程装备与技术》编辑部

地址:上海市番禺路 951 号上海交通大学出版社(邮编:200030)

邮箱:journalsjtup@hotmail.com

电话:021-61675260;60823078;61675249 传真:021-61675228