

实用技术 光纤传感技术在石油勘探与生产领域的应用

张 敏, 赖淑蓉, 廖延彪

(清华大学 电子系光纤传感实验室, 北京, 100084)

摘 要: 介绍了当前国外对光纤传感技术的研究动态和在石油勘探生产方面的应用进展情况。永久性埋入井下的光纤传感技术将在未来的应用中体现明显的优势。

关键词: 光纤传感; 石油勘探; 声探测

中图分类号: TP212.14

文献标识码: A

文章编号: 1000-9787(2004)增刊-0108-03

0 引 言

国内光纤传感技术的研究和开发迄今已有 20 多年, 在许多特定的应用场合, 光纤传感器相对于传统的电子传感器而言体现出许多天然的优势。光纤传感器具有抗电磁干扰, 适合于大范围远距离组网和环保的特性, 在核工业、电力、化工、石油和军事领域潜在着巨大的应用空间。

在石油勘探和生产领域, 光纤传感技术所面临的是高温、高压和强噪声的恶劣的工作环境, 这种应用环境带来的直接影响就是相应的技术复杂性的增加和产品成本的提高。解决这一问题的途径有两条: 一是提高光纤和光电器件的耐温性, 使光纤器件和光电器件能够在 $125^{\circ}\text{C}\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的环境中正常工作, 相对而言, 实现光纤器件如耦合器, 光纤光栅等的耐高温特性比较容易, 在采用聚酰胺(polyamide)材料涂覆后光纤的工作温度可以到 300°C 以上, 集成光学器件的工作温度主要取决于集成器件本身和光纤的耦合点的粘接工艺和材料, 而研发能在 125°C 以上温度工作的电子器件和光电器件, 如激光器、探测器难度较大, 是目前国际上的一个前沿课题; 另一条途径就是充分利用光纤的低损耗大带宽传输特性, 把传感部分永久的埋入井下, 用光纤把信号传输到地面系统中进行信号处理, 从而可以大大降低传感器系统的技术难度, 当然, 对于钻井测井系统和设备的改造工作是不可避免的。

国际上, 诸多在石油勘探和生产领域的大公司, 如 Sabeus, Weatherford, Schlumberger 等已经成功地把光纤温度传感器、光纤压力传感器和光纤声传感器应用在了油田勘探、开发和生产当中。

国内对光纤传感器在油田的应用研究尚处于探索阶段。清华大学电子系光纤传感实验室与中国海洋石油总公司油田服务公司共同承担了国家海洋“863”计划——时移地震采集关键设备研制的工作任务, 对光纤传感器在海上拖缆、井下 VSP 勘探、井下温度与压力检测和井下原油成分分析等方面进行了深入的研究, 已经取得了一定的研究成果, 但相比起国际水平而言, 还有非常大的差距, 需要国内同行相互协作, 共同努力, 一起来推动光纤传感技术在石油行业的应用和产业化。

1 光纤传感技术在石油行业的应用

光纤传感技术在石油勘探和生产领域的应用包括井下温度、压力监测、井下原油成分分析, 声探测以及油田设备, 如海上采油平台的健康安全监测等。

光纤光栅是近年来发展起来的最重要的光纤传感器件之一, 采用紫外曝光结合相位模板的方法或者采用干涉法, 可以很方便的在一根单模光纤中按顺序要求写入多个光纤 Bragg 光栅, 组成所需的传感器阵列。把光纤光栅用作声探测阵列的最成功的是 Sabeus 公司。

Sabeus 公司的光纤光栅声探测阵列技术来自美国海军实验室, 见图 1、图 2, 这种传感阵列可以用于海上拖缆, 也可以用作岸基阵, 把传感器阵列部分埋置在海底。这种光纤光栅传感器阵列是在一根光纤上制作多个传感单元, 充分利用了波分复用技术、时分复用技术和网络拓补结构。在 Sabeus 公司的光纤光栅阵列中, 光纤光栅缠绕在声敏材料外围, 再在外面加上保护层, 可以在海底工作 5 年以上。这种缆的系统结构实现了全光湿端, 并且降低了系统成本, 其成本是传统的压电缆的一半。

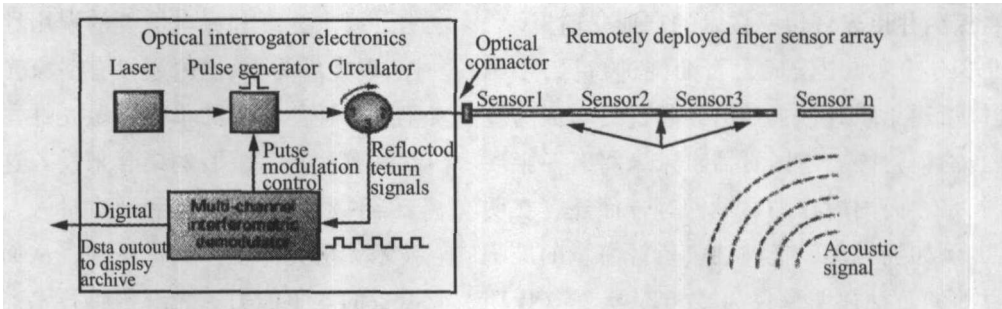


图 1 Sabeus 公司的光纤声探测阵列

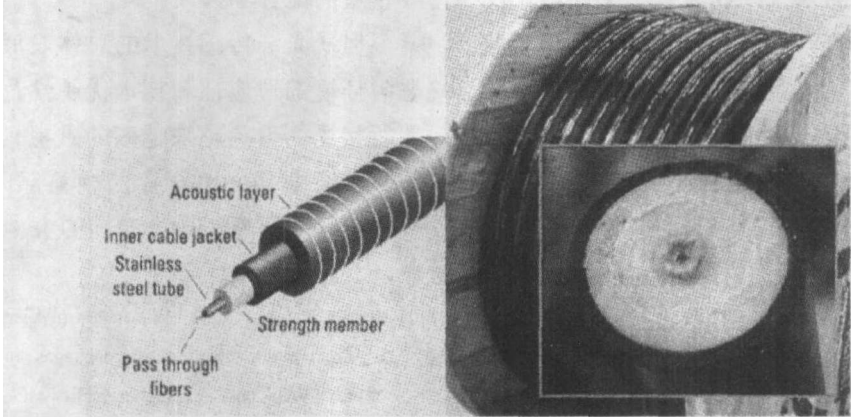


图 2 Sabeus 公司的光纤缆及结构

另一个具有重大意义的产品是 Weatherford 公司的井下 VSP 系统,见图 3、图 4,同样的他们也采用了光纤光栅传感器,只是在结构设计上进行了创新,构成三维地震波检波器。这种检波器与油井套管想结合,可以永久地安装在井下,控制和数据采集系统在地面,信号通过光纤传输上来,这样,一方面

大大降低了系统的整体成本,同时,避免了传统方法因为要采集数据而不得不停止生产的缺点,更进一步降低了数据采集成本。由这种方法采集到的地震数据处理的结果要比地面地震采集的结果清晰许多,对于钻井具有非常好的指导意义。

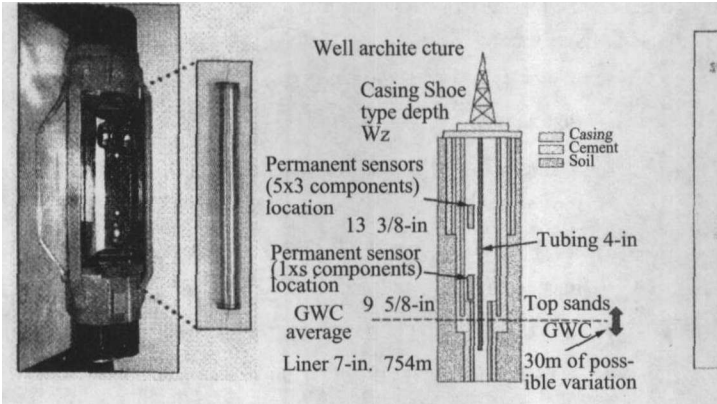


图 3 光纤井下检波器与应用

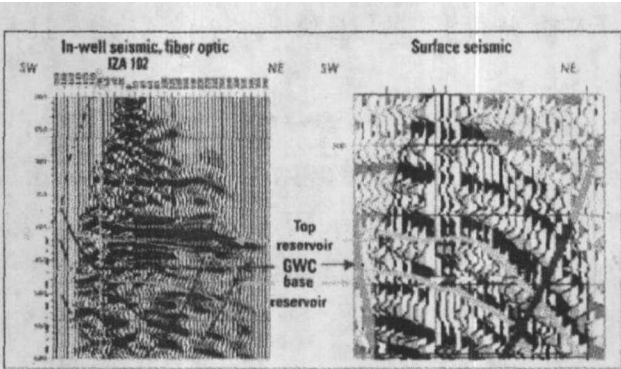


图 4 Weatherford VSP 检波器及地震数据

从以上这两家公司的产品可以看到光纤传感器在石油勘探和生产领域应用的美好前景和潜在的巨大市场。国内的石油行业的技术更新速度也非常快,在物探和测井等方面都有新的技术和产品出现,但是光纤传感器的应用受到比较大的阻力,主要原因是设备的改造成本非常大,并且还存在着较大的技术

风险。
石油勘探和测井方面的需求涉及许多方面,还包括温度、压力、振动的测量和井下原油油气水比例分析等等,这些方面的需求都为光纤传感器的应用提供了广阔的空间。相信在不久的将来,会有越来越多的产品投放到市场。

2 油田物探测井用光纤传感技术的产业化前景

从 1993 年开始,中国成为石油纯进口国,中国的石油进口量逐年攀升,去年已经超过日本成为世界第二大石油消费国。中国石需求未来将有一半要靠进口来补足,而国内在油藏勘探等方面还存在明显的滞后,例如拥有 103 亿吨油气资源总量的准噶尔盆地,目前的石油探明率仅为 21.5%,天然气探明率为 3.08%。面对这样的情况,如何提高国内油藏的勘探能力和现有油田的采收率成为一个关系国计民生的大问题。油藏地震数据采集设备的改进和测井技术的提高是解决这一问题的关键。因此可以预计国内在油藏地震采集设备和现有井田测试设备方面的投入将进一步加强。

光纤传感技术作为油田物探和测井方面的最新的技术发展方向,潜在着巨大的市场空间,这种先进技术的应用一方面可以提高油田采收率,另一方面可以作为已有设备的补充手段,为现有井田的深度开发提供可靠的数据资料,但是其技术的开发和产业化的前景还存在几方面的阻力:一方面来自于光纤和光电产业本身的技术落后,由于应用环境的恶

劣,要求光纤和光电器件的耐用性,稳定性和可靠性,以光纤为例,国内还没有一家光纤制作企业可以生产出性能稳定的单模高温光纤,目前主要还是依靠高校和科研院所的结合来投入这方面的研制。由于器件和工艺的落后和缺少投入,导致了光纤传感技术无法充分发挥其优越性,从而削弱了其与传统设备的竞争能力;光纤传感技术产业化的阻力另一方面来自于应用企业本身,一项新兴技术的应用需要企业的配合和投入。

但从光纤传感技术的总体发展而言,由于其对恶劣环境的适应性和技术优越性,必将越来越为企业所接受而得到越来越多的重视,我们有理由相信在石油行业和光电行业的相关部门的共同努力下,其产业化的实现不会是遥远的事。

参考文献:

- [1] Perry A. Fischer, Editor, What's new in seismic sensor technology- Four remarkable seismic sensor packages point toward an exciting future of lower costs and higher quality data, WorldOil Magazine, Sep.2003, Vol.224, No.9.

作者简介:

张 敏(1974-),清华大学博士。

(上接第 105 页)

子文档,进行相应的信息处理、相关的统计分析报表等工作。

传感器网络化测试系统的建立与应用,改变了过去基于工艺记录卡基础上的传感器产品技术管理、质量管理和生产组织管理模式,能够实现生产过程的自动数据采集、处理和网络数据库存储,实现生产现场的无纸化。

传感器网络化测试系统,包含了传感器产品的生产组织管理、技术管理和销售管理的相当部分的内容,覆盖了从产品投入、贴片、组桥、温度补偿、测试到成品包装整个生产过程的主要部分。它是传感器产品生产过程信息化的必然结果。相信随着它进一步的完善和改进,必将会有力地推动传感器产品

生产的发展。

参考文献:

- [1] 庄梓新.测量与控制核心系统手册[M].北京:航空工业出版社,1989.444-452.
- [2] 胡道元.计算机网络工程指南[M].北京:电子工业出版社,1993.292-302.
- [3] 何克清.计算机软件工程学[M].武汉:武汉大学出版社,1983.45-60.
- [4] 比兰斯基 P.,英格兰姆 D.G.W.,迟惠生(译).数字传输系统[M].北京:人民邮电出版社,1979.183-190.

作者简介:

杜友民(1966-),男,陕西洋县人,高级工程师。1985年毕业于西安航空工业学校计算机应用专业,1996年毕业于西安理工大学机电一体化专业。现主要从事传感器、非电量测试技术方面的工作。

