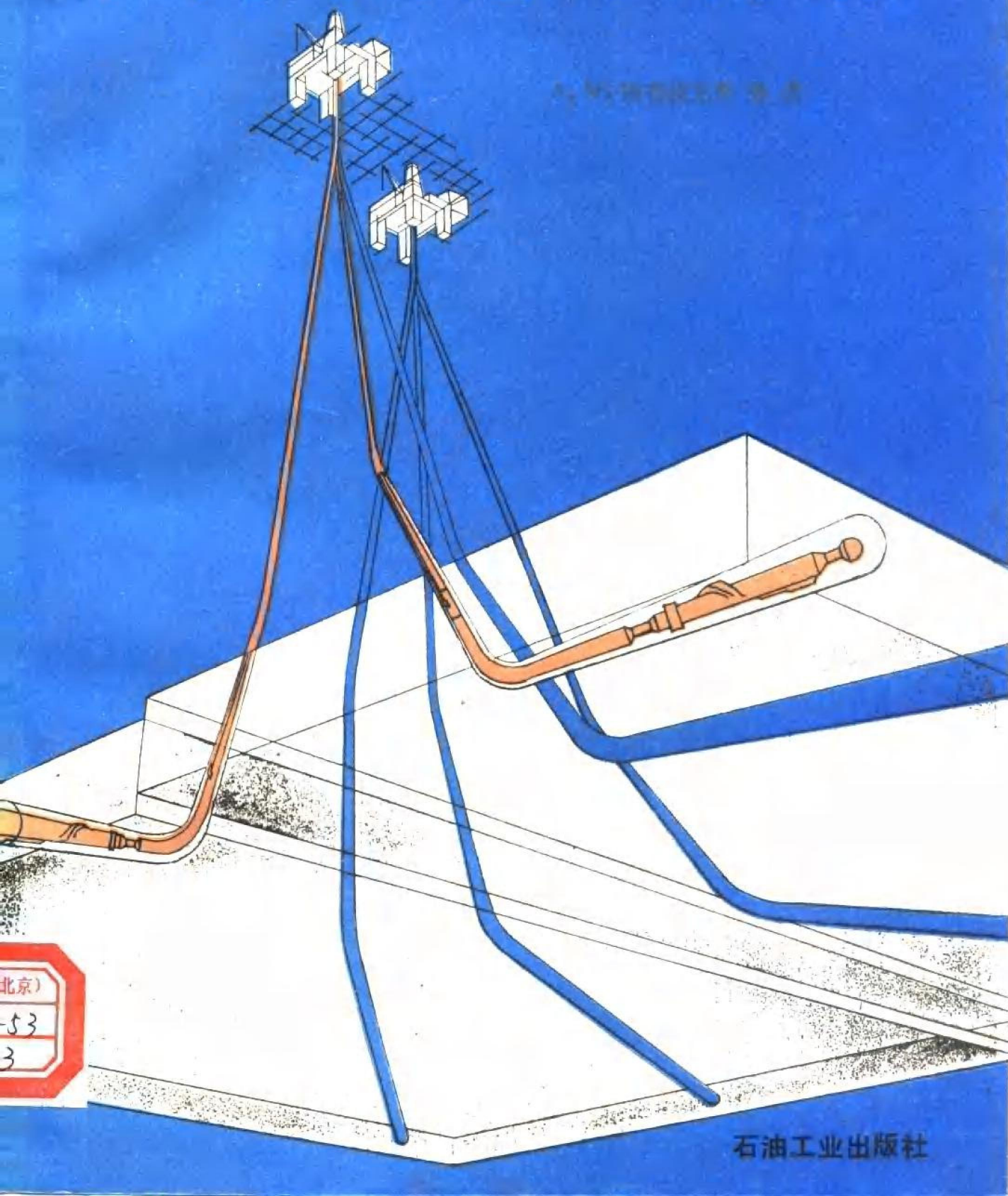


水平井测井技术译文集



水平井测井技术译文集

A.M.斯普拉克斯 等 著

朱桂清 陈益鹏 杨春胜 等 译

石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

随着水平井技术的进一步发展,水平井测井作为寻找油气层的一种手段将越来越受到人们的重视。本书全面而系统地介绍了水平井测井的有关技术,译者收集了1983年到1991年之间,国外测井界在SPWLA, JPT, The Log Analyst, SPE, World Oil, Oilfield Review和北京国际测井会等上发表的具有一定学术价值或实用价值的论文19篇,从水平井测井系统、方法原理和水平井测井资料解释两方面加以阐述。可以说,所收集的资料基本上反映了水平井当前的发展水平。希望本书能对国内水平井测井的发展起到一定的推动作用。

本书可供测井方法、仪器和解释人员、钻井和油田开发工作者以及院校师生参考。

水平井测井技术译文集

A.M.斯普拉克斯 等著

朱桂清 陈益鹏 杨春胜 等译

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云华都印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 12³/₄印张 312千字 印1—1500

1994年1月北京第1版 1994年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0820-3/TE·766

定价: 10.50元

序

水平井钻探技术的应用,为石油工业上游领域注入令人瞩目的高效益。当1983年第一口具有工业价值的水平井在欧洲完钻之后,就以一种“旋风”式的速度席卷钻采行业,到1990年完钻的水平井每年达1290口之多。在不到10年的时间内,出现这种方兴未艾急剧增加的趋势并非偶然,投资回收率(ROI)大幅度提高是促进水平井急速发展的主要推动力。根据专家的宏观统计,非裂缝储层水平井的产量大约为常规垂直井的3倍;对于具有天然裂缝性的油藏,产量将达到常规垂直井的12倍。此外,对于含水开采的油田,水平井将使采收率提高二倍之多。然而,水平井钻探引起的总成本提高,也会由于油藏钻井密度相应降低得到大幅度的补偿。就是因为从来很少有一种新的生产方式,能够获取如此高的投资回收率(ROI),才推动着水平井全球性的发展和普及。

我国水平井的钻探技术,虽然从60年代就进行了试验性探索,但真正投入现场工业性应用则始于1990年。至今不到二年时间,就成功完钻14口水平井。其中绝大部分集中于胜利油田。这一事实表明,在这一新的技术领域中,我国已经开始迈出坚实的一步。

水平井的钻探又是促进水平井配套系列技术形成的推动力。特别是伴随着水平井钻井技术的日趋成熟,水平井的测井和完井技术也相应有了很大的进步。一般来说,对于各种类型的水平井,测井技术面临的新课题主要表现在:

- 1) 在无重力牵引情况下,如何把测井仪器传送至井底;
- 2) 由于仪器平行地层层面引起介质的径向各向异性,所造成测量数据的失真;
- 3) 当“介质以井眼为对称轴呈径向对称”的基本前提不再成立之时,如何重建新的解释模型;
- 4) 如何把水平井的测量结果纳入油藏描述,以提高测井的横向预测能力;
- 5) 按照最佳开采方式实现定向射孔等等。

测井技术就是在迎接这一新的挑战过程中稳步前进的。经过近十年的努力,已经推出一系列富有特色、实用性强、紧跟水平井钻井技术发展的测井新工具和新工艺。其技术覆盖面相当宽阔,从随钻测井至裸眼井和套管井测井,从定向射孔技术到解释分析方法。对于这些反映当代先进水平的技术成果,本文集都有比较系统和全面的阐述。本文集是在充分调研的基础上,优选有代表性的技术论文和经验总结,向广大读者传递国外有关困难条件下测井的技术方法、定型工艺和经验知识。毫无疑义,它对我们跟踪、吸收和借鉴国外水平井测井的先进技术将有着重要的指导作用。

我国水平井测井技术在世界性浪潮的推动下,已经有了较好的起步,在套管井测井和软地层的定向射孔都有突破。特别通过对一批水平井测井资料的分析与评价,使我们有可能从传统地分析产层的纵向变化,进而更深入去揭示产层的横向变化,为提高测井的横向预测能力获取必要的经验和知识。但是,毕竟在这一领域我们起步甚晚,与当代先进技术相比差距还很大。我们相信,本文集的出版,将有助于激发我国的行业专家在这一技术领域中,进行更深入的专业思考和更全面的技术探索,有助于弥补我们面临的知识与经验的不足,有助于加快我们现场实践的步伐,从而促进我国水平井测井技术在新的起点上的进一步发展。

曾文冲

一九九二年五月

译 者 的 话

自从80年代第一批工业性水平井在欧洲钻成后,把测井仪器送到井下的新技术相继发展起来。目前,国外采用的五种水平井技术是:电缆法、钻杆传送法、泵送法、挠性管法和随钻测量法。至今,已出现了10多种以上述技术为基础的测井系统(附表),这些系统都已经过广泛的测试和应用。用这些系统可进行多种仪器组合测井、井壁取心、地层测试、射孔等服务,其中,钻杆传送系统与挠性管系统应用比较普遍。另外,最近几年随钻测量技术发展很快,用于地层评价中的测量有电阻率、自然伽马、自然伽马能谱、密度与中子,在某些情况下,它们已取代了电缆测井,预计,在海上钻的井、陆上深井及大斜度与水平井中,随钻测量会取代近50%的电缆测井。

附表 各种水平井测井系统

系 统 名 称		公 司	系 统 组 成	应用情况
电 缆 法		美国壳牌石油公司 斯仑贝谢公司	标准电缆仪器、轮子等辅助装置	曾在墨西哥湾测试效果良好
TOOL PUSHER		吉尔哈特工业公司 埃克森生产研究公司	侧入短节、仪器及保护套、连接器	1981年通过测试,1982年投入工业使用
Simpor		法国石油研究院 埃尔夫阿奎坦公司		1981年在法国测试,1982年进行多次测井作业
钻测杆井传送系统	内含式	阿特拉斯电缆服务公司	侧入短节、标准仪器、保护套、湿式接头	已在许多口井中进行了测井作业,其作业效率达到96%
	外伸式			
	直接连接式			
斯仑贝谢公司的水平井测井系统		斯仑贝谢公司	仪器及保护套、牵引器、挺杆、湿式接头	1981~1982年在法国和意大利成功地进行了测井作业
斜井快测系统		阿特拉斯电缆服务公司	侧入短节、仪器及辅助装置	现场测试表明,该系统可成功地进行大斜井测井
Pump-down Stinger		埃尔夫阿奎坦公司	仪器、挺杆、牵引器	在法国、意大利进行了生产测井
挠性管传送测井系统		阿特拉斯电缆服务公司 阿科油气公司	仪器、挠性管、注管机、	在美国、加拿大、西德等地应用
		哈里伯顿测井服务公司	连接器	

续表

系 统 名 称	公 司	系 统 组 成	应 用 情 况
RLL系统 (随钻测量)	Sperry-Sun钻井服务公司	自然伽马、电阻率、中子、密度等传感器、井下存储器	在普拉德霍湾、北海等地,用RLL系统代替电缆测井进行地层对比等、效果良好
模块化TE-MWD:Teleco公司系统		电阻率、中子、密度等传感器、井下记录仪	投入商业使用
LWD随钻测量	斯仑贝谢公司	电阻率、补偿中子、补偿密度、自然伽马、自然伽马能谱等传感器,井下存储器	投入商业应用、仪器性能良好

上述各种系统的特性是以目前的技术水平为依据的,随着各项技术的发展,这些特性会发生很大的变化。在近期内,水平井测井主要以钻杆传送系统及挠性管系统为主。但考虑到勘探井与开发井比例,陆上与海上钻井比例,特殊的测井需求及每种测井技术的限制,预计将来的水平井测井方法会以随钻测井及挠性管传送系统为主。若挠性管在井下的纵向挠曲问题得以解决,这种系统的应用会大大增加。否则,它将仅限于在套管井及中等斜度的裸眼井中使用。

水平井测井资料的解释还存在许多问题,国外也刚刚开始这方面的工作。目前,除对感应测井解释研究比较深外,其它大多是定性地说明水平井测井解释与垂直井测井解释之间的差别,以及有关裂缝的探测与分析。

水平井的另一个主要领域是如何进行有效的完井作业。最初所钻的大多数水平井都采用裸眼完井或为了防砂而使用了割缝衬管和砾石充填衬管的完井方法,这些简单的完井方法大大节省了常规注水泥射孔完井方案的成本。但在那些钻遇非均质、岩性多变且有断层而又穿过几个油层、有气顶或含水裂缝网地层的水平井中,则需要采用部分封隔或全部封隔地层的完井方法,以防止不需要的流体随意流入井内。研究表明,在整个水平井段内全部射孔是没有必要的,射开一部分的油气井产能与全水平井段打开的油气井产能是相近的,对于薄油层更是如此。水平井完井技术的发展趋势是,采用全部或部分注水泥固井,然后进行选择射孔。

全书共分两部分,第一部分为水平井测井系统和方法;第二部分为水平井测井资料解释。它基本反映了目前水平井测井的技术水平。

参加本文集翻译的人员还有孙济元、赵佩弦、赵久红、王庆、何立新、鲜于德清和徐晓伟。朱桂清对全书进行了统校。

由于我们水平有限,收集的文章还不够全面,书中错误或不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

目 录

第一部分 水平井测井系统与方法

一、各种水平井测井方法的现场使用.....	(3)
二、水平井测井面临的挑战.....	(8)
三、挠性管测井系统.....	(31)
四、大斜度、大水平位移井测井——斜井快下测井系统.....	(35)
五、减少大斜度井中的测井问题——TOOLPUSHER测井系统.....	(39)
六、大水平位移及水平井眼的测井要求与完井技术——PCL 测井系统.....	(44)
七、水平井生产测井新技术.....	(55)
八、利用标准测井仪评价斜井的技术.....	(65)
九、水平井的测井和射孔——一种创新的方法.....	(74)
十、探测裂缝的水平井测井新方法.....	(83)

第二部分 水平井测井资料解释

一、水平井测井资料的采集和解释.....	(91)
二、水平井测井解释.....	(112)
三、水平井中侵入流体的垂直运移.....	(119)
四、随钻测量技术在阿拉斯加North Slope普拉德霍湾非常规井中的应用.....	(131)
五、感应、电阻率和随钻测量仪在水平井中的应用.....	(143)
六、水平井射孔技术.....	(161)
七、水平套管井的完井和评价.....	(164)
八、水平井测井地层评价.....	(177)
九、在水平井中应用摄像仪观察到的天然裂缝的分析.....	(187)

第 一 部 分

水平井测井系统与方法

一、各种水平井测井方法的现场使用

A.M.Spreux A.Louls M.Rocca

赵佩弦 译

郑秀娟 校

摘要 随着大斜度井和水平井的开发,除电缆方法外,还研制了传送测井仪器的新技术。现有五种可用的新技术:即电缆方法、随钻测井法(MWD)、在水平井中信息采集和测量系统(Simphor™法)、泵送刚性挺杆法以及挠性管法。

通常电缆测井被局限在斜度为65°以内的井。因为使用钻杆,所以Simphor和MWD技术理论上可用于全部常规井中,不管是斜井还是水平井。对于伸缩式的刚性挺杆,只有小直径或生产测井仪器能够使用。由于挠性管的相对脆性,它局限于在斜井中使用常规仪器。后两种方法具有在无钻机的情况下也可操作的优点。

除水平井以外,这些方法有助于测量所有大斜度井或困难井,在这样的井中不能使用电缆方法测井。因而这些方法得到了广泛的采用。

引言

在直井或稍微倾斜的井中,通常是靠重力下放测井仪器的。随着水平井的出现,重力已不能帮助推动仪器下井,并且待测的储层泄流长度不再是几十米,而是几百米,目前已找到把测井仪器送到井底的一些新方法。

目前可用四种新方法传送测井仪器下井,满足水平井需要。第一种是用钻杆作为测井仪器和地面之间的刚性连接件(Simphor方法);第二种是根据伸缩管原理(泵送刚性挺杆);第三种是利用一种挠性管传送测井仪器和电缆。这三种技术用电缆把井下信息传输到地面仪器。第四种方法是在大斜度井或水平井中采取井下测量的方法,称之为随钻测井即MWD方法,钻杆做为移动井下仪器的手段,传输测井信息的是泥浆而不是电缆。

本文目的在于回顾这些不同技术的原理,研究它们的优缺点并用在水平井中取得的经验,依据井眼状态(倾斜或水平),指明每种技术的使用范围。这些方法不管是在裸眼井还是套管井中,用常规仪器或生产测井仪器都成功地进行了测试。

当然,所有这些方法不涉及相同的测井仪器。然而,我们提醒读者,本文记述的是传送测井仪器的方法,并未涉及仪器质量。同样众所周知,某些仪器的工作条件及响应会受到相关地层泄流位置的影响,从而给解释增加特殊困难。本文不论述这一问题。

测井技术描述

下列技术性能对比如表1所示。

表1 测井技术比较

技 术	仪 器	需要上 提能力	当测井 时生产 /循环	推动能力	恒速移动	井斜限度 (°)	水平长度		
							裸 眼 (m)	套管井 (m)	
电 缆	标准仪器	不	是	无	是	65~70	—	—	电缆限度内的仪器 组合
	小井眼生产 测井仪	不	是	无	是	65~70	—	—	
Simphor	标准 仪器	大	是	非常好	非	90	无限制	无限制	全部可用的仪器组 合无重量限制
泵送刚性 挺杆	小井眼 及生产测井仪	小	否*	好	几乎	90	700	700	
挠性管	标准仪器	小	是	弱	是	90	0	200	限制重量
	小井眼及生 产测井仪	小	是	弱	是	90	未知	600	
MWD	MWD	大	是	非常好	非	90	限制	无限制	少数仪器可用

* 注：除双管完井外。

钻杆技术——Simphor系统：该技术于1981年初首先在LA91井——水平井(法国 Lacq 油田)使用。几家服务公司以不同的命名(例如困难测井条件下的测井系统)、仪器推进器、钻杆传送测井)发展了其原理。

原理：利用钻杆传送测井仪器(如图1所示)。

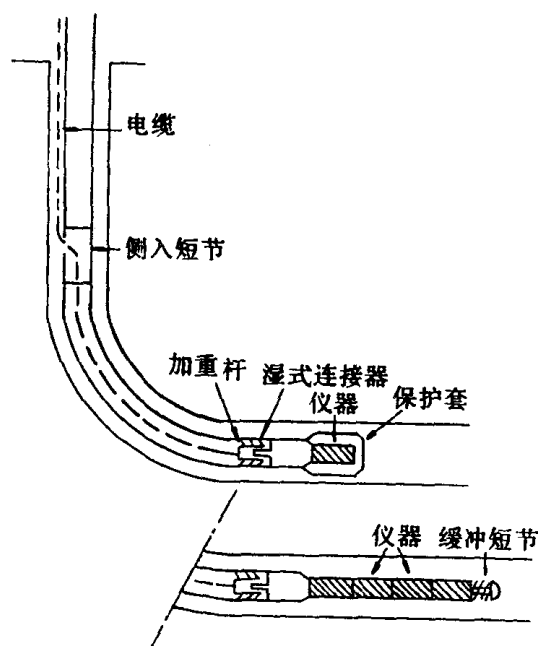


图1 钻杆测井

通过增加或减少钻杆移动仪器并通过电缆进行记录。该系统由三个主要部分组成：1)测量仪器和任何一种保护设备；2)钻杆和仪器界面之间的电子连接器；3)带有密封盒的侧入短节，它能使电缆处于钻杆和套管之间的环形空间。

通过适当的保护器，或者控制仪器经受的碰撞或挤压，使仪器得到保护。后一种情况无仪器保护套，所以可以使用所有类型的仪器组合。例如在Rospo Mare油田的许多井中进行作业的最长的仪器组合包括八种仪器。

操作过程：把连到钻杆末端的测井仪器和电缆连接器下到待测层段的上面。将穿有电缆的侧入短节拧到钻杆上。沿钻杆向下泵送电缆并使其与连接器的阳螺纹相联接。然后该系统准备记录。增加和减少钻杆，就可进行下测，

然后上测。

为了防止对套管和钻杆之间环形空间中电缆的任何损害，建议把侧入短节下放到该井的某一倾斜处，或者沿钻杆夹紧电缆，以保护电缆。因为Simphor使用钻杆，故通常所钻的全

部水平井，不管其深度如何，都可用这种方法进行测井。

泵送刚性挺杆技术：用这种技术(通过钻杆或油管)将下井仪和挺杆泵入井下。通过预穿电缆的刚性挺杆将仪器推出钻杆。研究了不同的方案，就我们所知，只有使用小直径仪器时这种方案才可以使用；而对于常规仪器被推至其保护器外的方案，尚未投入市场应用。

原理：由于它的特殊设计，这种方法(图2)仅适用于小直径和生产测井仪器。

这些仪器被安装在挺杆的尾部，该挺杆是由若干管子拧在一起组成的，能保证机械和电的连接。一个带有抽吸皮碗的心轴通称“推进器”，将挺杆联到电缆上。

靠组成推进器的活塞通过钻杆向下泵送测井仪器，靠上提电缆收回仪器。此外，在下泵挺杆运行时，在钻杆内无法进行循环，除用双管或者无封隔器完井以外，无法在流动条件下进行生产测井。

操作过程：下钻杆到待测层段起始位置以后，把仪器、挺杆、推进器和电缆组装在一起下放到待测层段。井口防喷器(BOP)和防喷管组合确保在井口压力下的生产测井。用盘根盒密封电缆。

泵到推进器上的流体将仪器推出钻杆，推出距离由挺杆长度决定。通过电缆直接测量深度。一个终端短节或者带孔接头将阻止推进器从钻杆射出。

经验表明，由于推进器抽吸皮碗朝上，所以当上提电缆时不能保持平稳地运动，这表明需要在恒定的速度下进行记录。皮碗翻转可减少这种影响，但是当向下进行时，会导致始终有流体向井底方向泄漏。

挠性管传送测井系统：由于该技术使用的标准设备需要的特殊配件很少，故引起人们的极大兴趣。

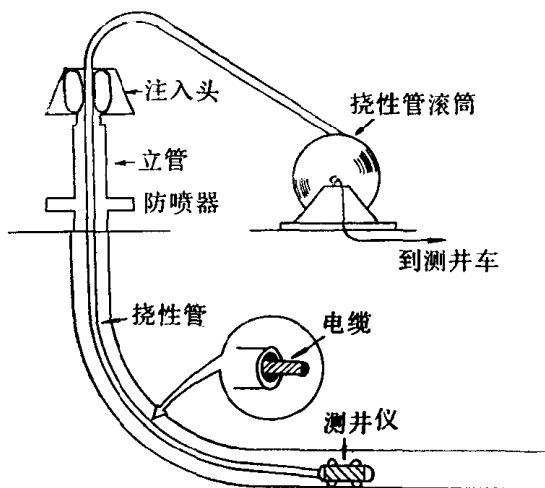


图3 挠性管传送测井

过程：用该系统进行测井的过程和常规使用挠性管一样，若需要在压力条件下工作，则应加一个适合于仪器的防喷管。

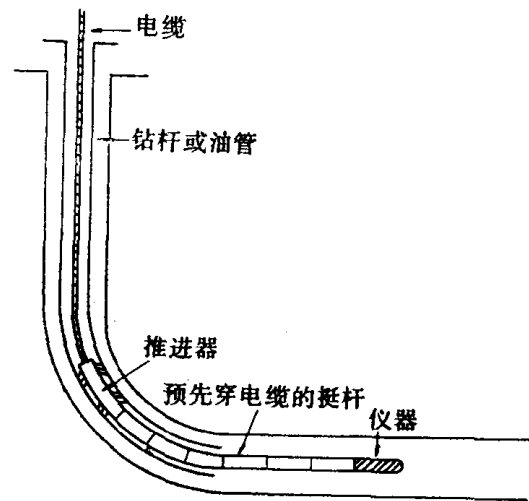


图2 泵送刚性挺杆

原理：系统原理如图3所示。

该系统特别简单：仪器直接安装在盘在滚筒上的挠性管的尾端，挠性管内部已装入电缆，在仪器和挠性管之间的接头保证了底部机械的与电的连接，而在地面靠一个旋转装置把电缆通过滚筒引出。通过标准挠性管注入头使挠性管(内含电缆)上、下运动，并在注入头附近的挠性管处发送出深度测量信息。

本方法可用于运送小直径仪器和生产测井仪器，但作业性能会受仪器重量的影响。此外，尽管由于电缆在挠性管中造成截面减少，但是通过挠性管仍可进行流体循环。

该系统在测井过程“下放”和“上提”时均可进行记录,由注入头控制测速范围,它能提供适合于不同仪器需要的速度。

该系统的缺点是相对较脆,因此它不能推动重仪器通过很长距离。

不同测井技术的作业范围示于图4。

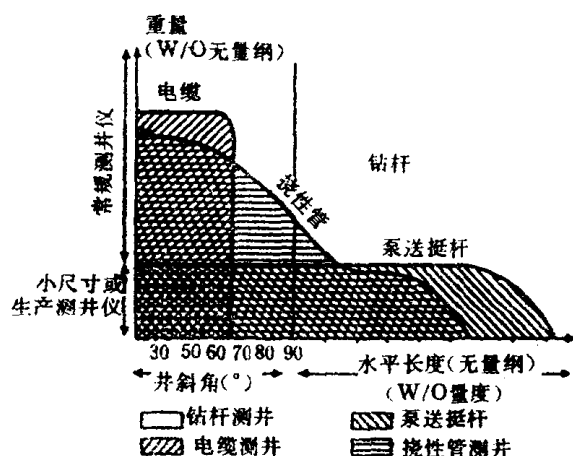


图4 测井技术应用范围

多种类型的测量,生产测井记录和水平衬管射孔。此外,这些方法应用范围不限于水平井或大斜度井,而且也可用于更多的常规井,就是那些存在困难条件的井(严重狗腿、井壁坍塌、桥堵等)。

参 考 文 献

- Baron, G. et al.: "One, Two, and Three Horizontal Wells in France and Italy," *Pet. Information* (April 15, 1982) No. 1567.
- Bleakley, W. B.: "IFP and Elf Aquitaine Solve Horizontal Well Logging Problem," *Pet. Eng. Intl* (Nov. 15, 1983).
- Bosio, J. and Reiss, L. H.: "Horizontal Well Operations—2: Site Selection Remains Key to Success in Horizontal Well Operations," *Oil & Gas J.* (March 21, 1988) 86, No. 12, 71-76.
- Clary, M. M. and Stafford, T. W.: "MWD performance and Economic Benefits in the Zu Horizontal Drilling Program," paper SPE 16171 presented at the 1987 SPE/IADC Drilling Technology Conference, New Orleans, March 15-18.
- Escaron, P. C.: "A Technique To Evaluate Deviated Wells With Standard Logging Tools," paper SPE 12180 presented at the 1983 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Francisco, Oct. 5-8.
- Giger, F. M., Jourdan, A. P., and Reiss, L. H.: "The Reservoir Engineering Aspects of Horizontal Drilling," paper SPE 13024 presented at the 1984 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Sept. 16-19.
- Howell, E. P., Smith, L. J., and Blount, C. G.: "Coiled-Tubing Logging System," *SPEFE* (March 1988) 37-39.
- Joly, E. L. et al.: "New Production Logging Technique for a Horizontal Well," *SPEFE* (Aug. 1988) 328-32.

- Rao, M.V. and Fontenot, J.E.: "MWD (Measurement While Drilling) Poised for Future—2; MWD Gains as Formation-Evaluation Tool," *Oil & Gas J.* (Feb. 8, 1988) 86, No. 6, 44-48.
- Reiss, L.H.: "production From Horizontal Wells After Five Years," *JPT* (Nov. 1987) 1411-16.
- Wittrish, C. and Jourdan, A.: "Horizontal Well Logging by Simphor," *proc.*, Eighth European Formation Evaluation Symposium, London (March 1983).

二、水平井测井面临的挑战

C. Clavier

徐晓伟 译

朱桂清 校

目前,把井眼向水平方向延伸以提高产量已不再新鲜,并且有许多厂家竞相声称他们钻了“第一批”水平井。实际上,第一批工业性水平井是于1983年在欧洲钻成的。经过几年的不断探索,水平井数量迅速增加,在1990年,新钻水平井数量为1290口,其中大部分是在美国钻的(图1)。相比之下,美国每年在海外大约钻7500口井。

为什么一直比较保守的石油工业在这一新的领域发展如此迅速呢?其原因很简单:投资回收率(ROI)比较高。还没有一种采油方法具有如此大的提高ROI的潜力(图2)。平均来

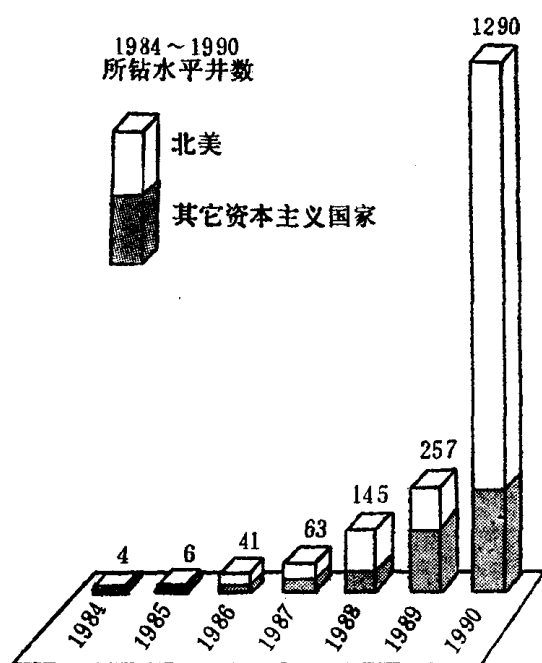


图1 水平井钻井递增情况

	垂直井	水平井	ROI 倍数
产量	8	8888	3
低渗透油气藏	8	88888888	12
裂缝性油气藏	8	88888888	12
采油 开始出水或气 时的采出量			2
投资 单井成本			0.5
钻井密度			2
海上平台			3P

图2 水平井技术对投资回收率的影响

说,在非裂缝性油气藏中,水平井产量是对应垂直井的3倍,如果在天然裂缝性油气藏中钻水平井,则是其12倍。另外,由于沿水平井段采油,大大降低了锥进影响,所以油井见水的开采量可提高1倍。事实上,水平井的总费用很高,大约是垂直井的两倍。但这足以由较小的钻井密度得到补偿。此外,由于水平井的侧向覆盖面积比较大,所以,海上钻井所需的平台比较少。

以上这些数字既不是理论上的也不是凭空想像的,它们是已发表的现场数据的平均值。

一种技术革新能以如此少的成本带来如此大的效益是很少见的。当然，还有不适于钻水平井的情况，因此，常规的钻井方法将不会消失。但是，毫无疑问，水平井将存在下去，而且其数量将会继续以很快的速度增加。

水平井中遇到的情况与普通井中的有明显地不同。水平井眼实际上与地层界面平行，与重力方向垂直。它并不穿过储层，而是在储层内沿着储层方向延伸。这些新的情况将会影响到测井的数据采集、解释和测井的目的。这就是我所提到的挑战。下面将简要描述水平井的特征。

水 平 井

已经提出了几种水平井设计方案，但得到现场认可的为数不多，下面将描述这些设计方案。它们特征间的差别并不总是那么一目了然。

井的类型

几种主要的水平井都源于大水平位移钻井(ERD)技术。一种典型的大水平位移井如图3所示。一般，用ERD技术所钻井的斜度都比较大(比方说 80°)，但通常在穿过储层之前重又钻成垂直井段。井的最大曲率半径为中等($3^\circ/100\text{ft}$)，井径比较大(直径大于 $8\frac{1}{2}\text{in}$)，以便安全钻井。除了在储层中钻水平段这一点之外，大曲率半径水平井(图3左边第二个)与ERD井非常类似。它们的曲率和井眼尺寸也很类似。通常把套管下到弯曲井段的底部。水平段可达 3000ft ，但 2000ft 水平段居多。水平段可以是裸眼完井也可能是下衬管完井。大曲率半径的水平井成本最高但风险最小(钻的是外围浅井，最容易提供服务。在得克萨斯州、奥斯汀白垩系产层外围，它们是最常见的水平井类型)。

“中曲率半径”井(图3中间)看上去好像是按比例缩小了的大曲率半径水平井。它的曲率要大得多($30^\circ/100\text{ft}$)，井径通常小于 $6\frac{1}{2}\text{in}$ ，水平井段很难超过 1500ft 。完井方式通常为裸

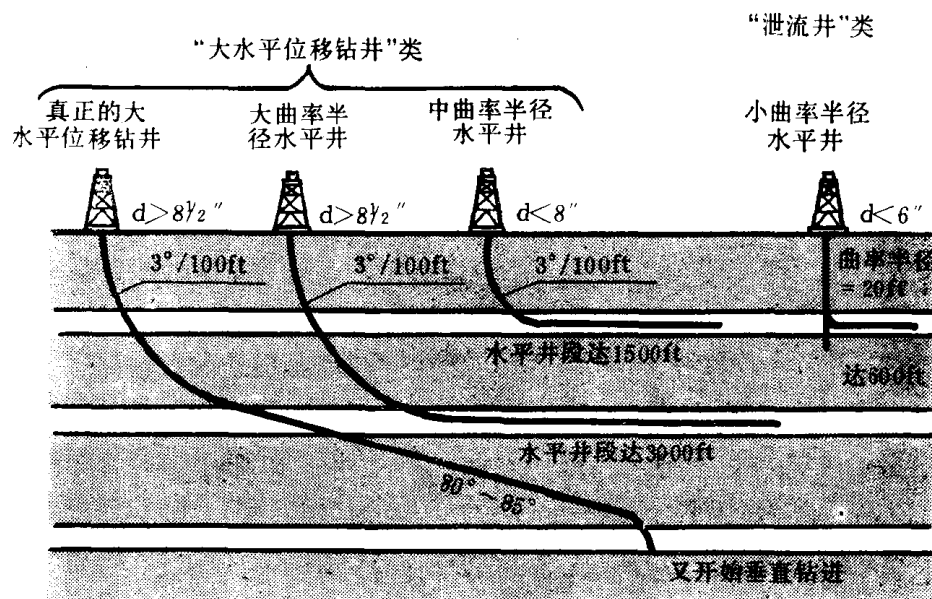


图3 水平井种类

眼完井。中曲率半径水平井适于钻浅井和钻低成本的井。这类井在奥斯汀白垩系产层非常普遍。目前，绝大部分水平井都是在这种产层中钻的。

对ERD型水平井来说，水平井段是井眼的延伸，因此，每口井只能钻一个水平段。其它类型的水平井，从同一口井则可钻许多水平井段，我们将这些井分成一组称为“泄流井”。小曲率半径水平井就属此类(图3右)。钻一口常规的垂直井使其通过储层并下套管，然后，在要钻的水平井段上方约30ft处过套管开一个窗口。用造斜器和特殊的钻井设备，通过窗口以很大的造斜率钻一小井眼，垂直点到水平点大约为20ft。水平段可达600ft，只能裸眼完井。从理论上讲，在同一储层中，从同一口井可钻多个“泄流井眼”。小曲率半径水平井似乎特别适用于注入或提高采收率(EOR)作业。起初，这种技术非常受欢迎，但由于在控制水平井轨迹方面存在许多问题，因此，暂时又遇到了冷待。另外，还有许多种“泄流井”仍没有什么经济价值。

完井方法

图4所示为水平井中所采用的完井方法。每一幅图描述了一种完井类型，并说明了偏转式流量计的流动特征。由于各种机械限制，中和小曲率半径水平井一般为裸眼完井(图4，顶部)，这是主要的缺点。水平井中延长的采油井段使得它们有可能穿过垂直渗透率不同的层段，导致水和气被提前采出。目前，在裸眼完井和割缝衬管完井的井中还无法进行修井作业。

只有大曲率半径水平井允许进行水泥胶结和射孔的衬管完井(图4，底部)。然而，在水泥胶结过程中，由于重力分异作用常常使得泥浆替换不完全。尽管某些操作者声称总是获得成功，但很难得到可靠的水泥胶结。对于大曲率半径水平井，最常用的完井方法是在裸眼井段下一个割缝衬管(图4，中上)，有时带有一沙充填段。但若考虑修井这一因素，它并不优于裸眼井完井。最近，在某些特殊的井段采用带有膨胀式封隔器的割缝衬管(图4，中下)完井方法或许能改变

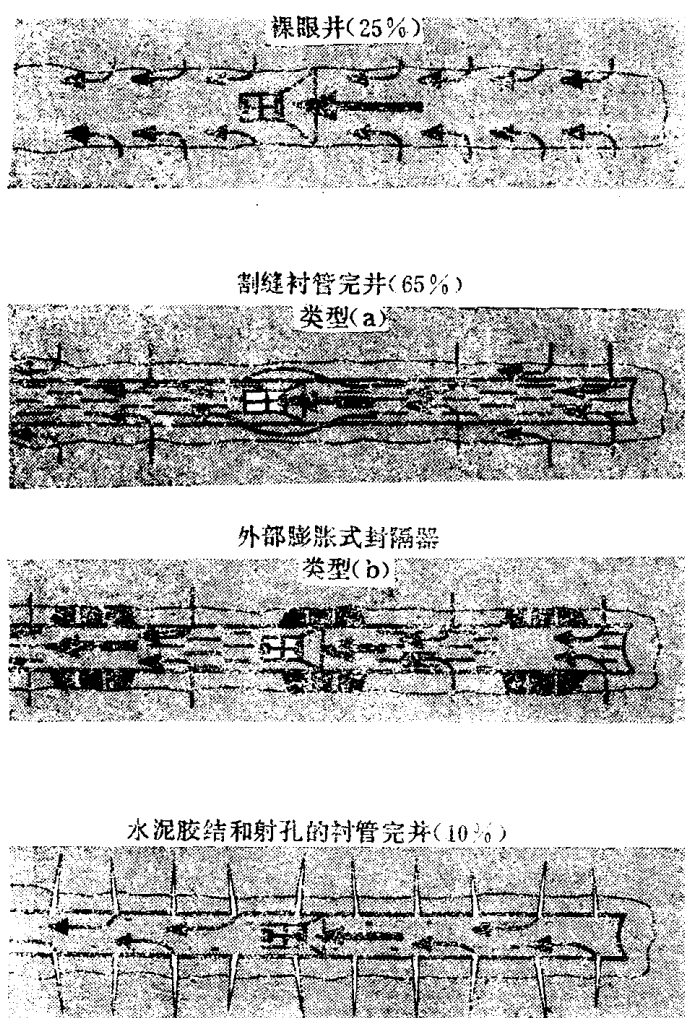


图4 水平井完井类型

这种习惯。这些封隔器能够把不同的采油段隔开，可封堵这些层段或对其进行单独的流量测量。这种完井方法尤其适用于从多个裂缝段采油的井。