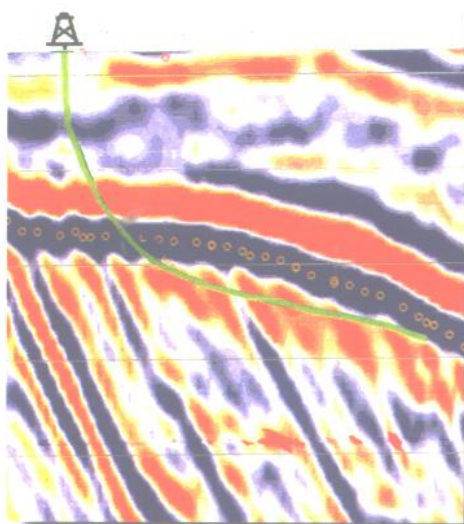




王明太

主编



“八五”水平井钻井技术要览

石油工业出版社

(北京)

43

0

109687

TE243

010

“八五”水平井钻井技术要览

王明太 主编



石油0112317

SY70/32



石油工业出版社

内 容 提 要

水平井钻井技术是当代油气资源勘探开发的重大技术,经过“八五”科技攻关,我国的水平井钻井技术已达到国际 90 年代初的先进水平。针对新疆火山喷发岩裂缝性油藏、大庆油田低渗透砂岩油藏、大港低渗块状砂岩油藏、辽河油田稠油油藏、华北油田裂缝性碳酸盐岩底水油藏以及胜利油田不整合油藏、低渗透块状砂岩油藏、稠油砾石油藏、调整区断块砂岩油藏,本书介绍了与之相配套的水平井优化设计技术、井眼轨迹控制技术、钻井液和完井液技术、取心技术、固井和完井技术、测井技术、射孔技术以及专为水平井而开发的各种工具。

本书可供从事石油钻井工作的现场科技人员和石油院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

“八五”水平井钻井技术要览/王明太主编.

北京:石油工业出版社,1998.5

ISBN 7-5021-2358-X

I. 八…

II. 王…

III. 水平井-油气钻井-技术

IV. TE2 43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 18639 号

石油工业出版社出版

(100011 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

*

850×1168 毫米 32 开本 7.375 印张 200 千字 印 1—2000

1998 年 7 月北京第 1 版 1998 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2358-X

定价: 16.00 元

《“八五”水平井钻井技术要览》

编 委 会

主 编：王明太

编 委：	陈 平	赵子仁	闫 铁	王发源
	方德彭	葛洪魁	王福元	周全兴
	崔士斌	苏义脑	陈祖锡	王振光
	许岱文	杨 杰	刘东海	李海军
	高远文	易文所	张昭菊	谢熙池
	胡世杰	郭建强		

序 言

近年来,世界采用水平井勘探开发油气藏的规模不断扩大。专家预测,钻水平井将是未来油气勘探开发的最重要手段之一。钻水平井的规模迅速扩大的主要原因在于它可大幅度提高油气资源勘探开发的综合经济效益。

本着需求、能力、效益、先进的原则,中国石油天然气总公司在国家计委的大力支持下,“七五”期间使定向井、丛式钻井技术进入国际先进行列,“八五”期间又相继开展了水平井成套钻井技术攻关,并列入国家重点科技攻关计划。经胜利、大庆、华北、大港、新疆石油管理局和辽河石油勘探局、石油勘探开发科学研究院、石油大学(华东、北京)、西南石油学院、大庆石油学院以及石油工程技术研究院等单位 762 名攻关人员的艰苦攻关,提前一年,于 1994 年全面超额完成各项考核指标,经专家鉴定,认为其整体技术已经达到 90 年代初国际先进水平,并顺利通过国家计委的验收。

历时四年的艰苦攻关,攻克了水平井工程设计、轨迹控制、水平井钻井和完井液、水平井固井和完井、水平井测井等五项关键技术,在我国七大油田的六种不同类型油气藏中,钻成长、中、短半径各种类型水平试验井 47 余口,钻井成功率 100%,掌握了一整套水平井钻井技术,能基本满足油田勘探和开发的需要。这是科研与生产相结合、部门单位密切合作的结果。

水平井技术是当代油气资源勘探开发的重大技术,这次水平井攻关的实践证明它适用于从初探井开始到勘探开发的各个阶段,并且在各种类型油气藏中都取得了良好的经济效益。随着水平井技术的迅速发展和完善,其应用效果会日益提高,应用领域也会不断扩大。

为使该项科技攻关成果更广泛地推广应用,现将“石油水平

井钻井成套技术”科研项目的计划执行情况及部分重要成果汇编成册，提供给有关科研单位、生产部门使用，以期促进该项技术更大面积和更快的推广应用和发展提高。

本书较系统地记载和反映了“石油水平井钻井成套技术”这一研究项目的攻关成效，它是各有关单位及参加攻关的全体人员共同努力的结晶，也是对承担单位、科技管理部门、科研人员所做贡献的历史记载，谨此，向为参与此项目科技攻关并做出贡献的各有关单位的领导，以及专家、教授等全体科技人员致以衷心的感谢和敬意。

编者

1997.8

目 录

绪论	(1)
第一节 项目简介	(1)
第二节 指标对照	(5)
第三节 重大成果	(7)
第四节 钻井周期	(8)
第五节 油藏类型	(9)
第六节 钻井实例	(9)
第七节 经济效益	(11)
第八节 关键技术	(16)
第九节 创新要点	(19)
第十节 组织管理	(22)
第十一节 十年回顾	(26)
第十二节 专家论证委员会的论证结论	(28)
第十三节 水平井完成情况	(30)
第一章 新疆火山喷发岩裂缝性油藏水平井钻井技术	(43)
第一节 概述	(43)
第二节 裂缝性油藏水平井地质、油藏工程技术	(53)
第三节 水平井钻井优化设计技术	(57)
第四节 水平井井眼轨迹控制技术	(61)
第五节 水平井钻井液、完井液技术	(67)
第二章 大庆油田低压低渗透油藏水平井钻井技术	(71)
第一节 概述	(71)
第二节 水平井钻井优化设计技术	(76)
第三节 水平井井眼轨迹控制技术	(81)
第四节 水平井钻井(完井)液技术	(85)
第五节 水平井取心技术	(89)
第六节 水平井完井(固井)技术	(93)
第七节 水平井测井、射孔技术	(95)

第三章 大港低渗块状砂岩油藏水平井钻井技术	(111)
第一节 概述	(111)
第二节 水平井优化设计	(114)
第三节 水平井井眼轨迹控制技术	(119)
第四节 水平井钻井液、完井液技术	(127)
第五节 短半径工具的研制	(130)
第六节 水平井钻进工艺技术	(131)
第七节 水平井完井技术	(134)
第四章 辽河油田稠油油藏水平井钻井技术	(137)
第一节 概述	(137)
第二节 专题研究	(139)
第三节 重要研究成果	(141)
第四节 主要技术指标	(158)
第五节 经济效益、社会效益分析	(159)
第六节 稠油水平井钻井技术在辽河油田 的应用前景	(164)
第七节 小结	(165)
第五章 华北油田水平井钻井技术	(166)
第一节 概述	(166)
第二节 水平井钻井工程优化设计	(167)
第三节 水平井井眼轨迹控制技术	(170)
第四节 水平井钻井液与完井液技术	(177)
第五节 水平井完井、固井技术研究	(180)
第六章 胜利油田水平井钻井技术	(185)
第一节 概述	(185)
第二节 胜利油田水平井钻井技术研究的 成果和指标	(186)
第三节 水平井钻井技术	(194)
第四节 水平井的经济效益和社会效益	(213)
第五节 胜利油田水平井的人员和装备	(216)

绪 论

第一节 项目简介

1982年，党中央和国务院根据我国经济和科技发展的形势，制定了“经济建设依靠科学技术，科学技术工作面向经济建设”的战略方针，同时，根据国家的财力、物力和技术水平的实际情况，要求科技部门、经济界，发挥社会主义大协作的优越性，有选择、有重点地发展那些对国民经济发展有重大影响的、产业关联度比较大的技术，集中人才、物资和资金等各方面力量，联合攻关，提高经济发展的水平和产业的技术水平，增强我国在国际竞争中的能力。遵照党中央和国务院的布置，国家计委会同国家科委及国务院有关部门开始编制国家重点科技攻关计划，至今已进入第四个五年计划。其中“八五”国家重点科技攻关计划，共安排了国民经济急需解决的重大项目180项，由中国石油天然气总公司组织实施的“石油水平井钻井成套技术”项目就是其中之一，它属资源领域，石油勘探开发技术，钻井工程学科。

为了全面按时完成“八五”国家重点科技攻关计划，中国石油天然气总公司组织了六个油田、五个院校共计762名科技人员，在涉及水平井钻井的设计技术、轨迹控制技术、钻井液技术、完井技术以及测井和射孔技术的五个方面共31个专题进行了四年的攻关。在此之前，我国的水平井技术几乎是一片空白。

1965年，我国在四川省钻成了第一口水平井——磨—3水平井，成为继美、苏之后第三个钻成水平井的国家，但由于诸多原因，发展工作长期停滞，进入80年代以来，国外水平井钻井技术开发进入广泛应用阶段。与国外迅速发展的水平井钻井技术相比较，我国的差距是明显的，从钻成第一口水平井到攻关的25年中，

我国仅钻成 2 口水平井。为迅速缩短与国外的差距,发展我国的石油工业,经 762 名科技人员五年的拼搏奋斗,到 1996 年底,我国已钻成各类水平井近百口,使我国的水平井钻井技术从“八五”前的基本空白一跃发展到了国际 90 年代初先进水平。

水平井技术是当代油气资源勘探开发的重大技术,实践一再证明它适用于从初探井开始的勘探开发的各个阶段,不仅可解决开发中的难题,而且是一种可以解决地质难题的手段。

水平井的应用范围大致有:

- (1) 对裂缝性低渗透油气藏改善渗透条件;
- (2) 对不宜多打井的薄油层和小断块可扩大泄油气面积;
- (3) 对气—水锥进的油气藏减缓水锥和气锥的推进速度;
- (4) 对稠油油藏可提高热采效率和重力驱油效果;
- (5) 对有垂直裂缝带的油气藏,可提高钻遇裂缝发育带的机会;
- (6) 对沙漠、浅滩、海域、城市、重要工程、高产粮棉基地可用水平井开发,以避免上述不利地形,减少钻井井数,增加控油面积;

(7) 对已枯竭的老油田,可利用侧钻水平井提高油井最终采收率;

(8) 利用水平井注汽、注水可以提高老油田的注水量、采油量和原油采收率。

“水平井钻井成套技术”攻关的水平井类型有三种:

- (1) 长半径水平井 (造斜率 $< 6^{\circ}/30\text{m}$);
- (2) 中半径水平井 (造斜率 $6^{\circ}/30\text{m} \sim 20^{\circ}/30\text{m}$);
- (3) 短半径水平井 (造斜率 $1^{\circ}/\text{m} \sim 10^{\circ}/\text{m}$)。

以上三种水平井用于不同地形与地下条件的水平井主要有:大位移水平井、水平多底(多目标)井、丛式水平井、地面井口 45° 的浅水平井、定向井套管开窗侧钻水平井、平行水平井、小井眼水平井、侧钻水平井、用于地质目的的水平评价井。

采用水平井技术的主要目的是降低综合成本,增加经济效益。

钻水平井取得显著经济效益的油气藏类型很多，其中包括：

- (1) 裂缝性或喀斯特洞穴型碳酸盐岩油气藏；
- (2) 有垂直裂缝带的页岩气藏；
- (3) 浅的未胶结砂岩沥青型稠油油藏；
- (4) 浅的岩礁型稠油油藏；
- (5) 穹窿背斜油藏为断层破碎及倾斜大的翼部；
- (6) 有底水和气顶的良好砂岩油藏；
- (7) 薄的砂岩油藏；
- (8) 用直井开采不具经济性的致密气藏；
- (9) 煤层气。

根据我国油气藏的实际情况，“水平井钻井成套技术”攻关重点主要还是针对用直井方法无法开发或开发效益很低的特殊油气藏，如裂缝性油藏、稠油油藏、低渗透油藏和底水油藏。

水平井形态特征与其它类型井相比，使得重力由有利于钻井变为不利于钻井，由此带来诸多技术难点。再加之我国的油藏多以陆相沉积为主，其特点是油层薄，纵横物性变化大，油层位置不确定性大。而且我国地域辽阔，油藏类型多，水平井钻井基础薄弱，所有这些都大大增加了在我国钻水平井的难度。其难点概括起来主要有：

(1) 如何针对不同类型的油藏对水平井进行科学的地质、油藏工程和钻井工程设计；

(2) 如何在如此复杂的地层中精确控制水平井井眼轨迹；

(3) 如何在不同地层情况下防止水平井井壁坍塌，保证安全钻井；

(4) 如何针对不同油藏类型合理设计与之适应的完井方法并保证完井工程质量；

(5) 如何保证测井仪器下入水平井中，完成水平井工程和地质测井。

针对上述技术难点，开展了从水平井设计、施工到完井测井的一系列技术攻关，包括理论研究、实验研究、软件研制、工具

仪器研制、工艺技术研究，形成了一套适合我国各类油藏特点的水平井钻井配套技术。

攻关的技术方案是：

(1) 建立水平井地质油藏工程与钻井工程优化设计方法。通过开展油藏的精细描述、产量预测和经济评价，建立水平井油藏筛选标准和水平井地质设计方法；编制水平井钻井优化设计软件包；开展井眼轨道、井身结构、钻柱和钻井参数设计研究；结合油藏地质特点和开发要求，实现水平井钻井的优化设计，为实现钻探目的、减小钻井风险、降低钻井成本、加速施工进度提供前提条件。

(2) 开展水平井井眼轨迹控制技术研究。通过开展水平井下部钻具组合系统的力学分析，水平井钻头与地层相互作用研究，水平井井眼轨迹控制工艺技术和水平井钻井专用工具仪器的研制，形成一整套水平井井眼轨迹控制技术，并编制便于现场应用的计算机软件包，实现对水平井下部钻具的优选，以便对井眼轨迹进行预测、监测和控制，使水平井井眼轨迹控制达较高精度。

(3) 开展水平井钻井液技术研究。通过开展水平井偏心环空中钻井液螺旋流场研究，水平井钻井液携岩机理和流变参数研究，水平井井壁稳定研究，水平井钻井液、完井液的配方及性能研究，优选出不同条件下水平井钻井所需的钻井液完井液体系，研制出适用于水平井的新型钻井液添加剂，给出水平井钻井过程中所需的钻井液密度，钻井液流变参数及排量，解决水平井钻井中的岩屑携带、井眼坍塌、钻井液漏失、润滑性和油层污染问题。

(4) 开展水平井固井完井方法研究。开展水平井完井方法选择、套管在井下弯曲条件下的强度设计方法研究和提高水泥浆顶替效率的研究，进行水泥浆体系的筛选；研制开发出适用于水平井套管的成套附件，研制出能满足大斜度井及水平井特殊要求的外加剂；根据不同类型油藏的地质特点和开发要求分别实施裸

眼、套管射孔、筛管+管外封隔器、筛管预充填等完井方法,编制应用软件,采用成套工艺技术,保证水平井固井完井的质量。

(5) 开展水平井测井和射孔技术研究。通过开展与测井装备配套的钻杆输送式水平井测井工具的研制,水平井测井施工工艺和水平井测井资料处理解释方法研究,水平井射孔枪结构、射孔枪起爆装置与传爆系统设计,以及射孔深度定位及施工工艺研究,实现依靠自己的力量进行水平井射孔和测井施工及解释的目标。

(6) 开展水平井取心技术研究。通过对取心工具外筒的扶正导向、内外岩心筒居中、井眼清洗问题的研究,研制 3 个系列的水平井取心工具,使岩心收获率大于 85%。

项目实施后的结果如下:

在理论研究、实验技术、软件技术、工具仪器研制和工艺方法等方面,取得了 30 项技术成果,其中重大科技成果 16 项,形成了一整套水平井钻井完井技术,我国的水平井钻井技术从“八五”前的基本空白一跃发展到了国际 90 年代水平,跻身于世界先进行列。至 1996 年年底,已应用该技术在全国 13 个油田的六种以上不同类型的油藏,共钻成科学试验水平井和推广水平井 92 口,仅在已投产的 47 口科学试验水平井就增产原油 76.48 万 t,新增产值 8.07 亿元,获直接经济效益 6.46 亿元。该项目取得的成果已成为增加原油产量、提高采收率和开发特殊油藏的有力手段,对东部稳产、西部增产具有重大战略意义。因此该技术被列入“八五”期间全国为国民经济贡献巨大的十大攻关成果之一,并带动了与水平井有关的地质、油藏、采油工程等相关学科技术的发展,对推动石油科技进步有深远的意义。

第二节 指标对照

经过攻关,提前一年超额完成合同规定的各项考核指标(见表 1)。

表 1 石油水平井钻井成套技术合同规定指标与实际完成情况对照表

内容	合同规定的攻关任务	实际完成情况
油藏类型	不同类型油气藏	低压、低渗、稠油、火山喷发岩、不整合屋脊式砂岩、碳酸盐岩裂缝性油藏
技术水平	总体上接近国际 80 年代末的技术水平	专家鉴定意见：总体上已达到 90 年代初国际先进水平
完井数	完成长、中、短曲率半径科学试验水平井 10 口以上	已钻成长、中、短半径水平井 47 口，其中长半径 4 口，中半径 42 口，短半径水平井 1 口
所钻油层厚度	具有钻油层厚度 10m 左右的能力	具有钻油层厚度 4m 左右的能力
造斜率	中半径水平井造斜率为 ($6^{\circ}/30\text{m} \sim 20^{\circ}/30\text{m}$)	已钻中半径水平井平均造斜率在 ($8^{\circ}/30\text{m} \sim 12^{\circ}/30\text{m}$) 之间，最大造斜率为 $22.16^{\circ}/30\text{m}$
	短半径水平井造斜率为 ($1^{\circ}/\text{m} \sim 10^{\circ}/\text{m}$)	已钻短半径水平井平均造斜率在 $1^{\circ}/\text{m}$ ，最大造斜率为 $1.3^{\circ}/\text{m}$
水平段长	中半径水平井水平段长一般在 300m 以上	中半径水平井水平段长度一般在 200~500m 之间，最长为 901m
	短半径水平井水平段长一般在 50m 以上	已钻短半径水平井水平段长 63m
井斜角	在目的层中井斜角一般应在 85° 以上	已钻成长、中、短半径水平井水平段井斜角都超过 86°
攻关时间	五年	四年，提前一年完成攻关任务
产量	水平井单井与邻近直井的原油产量比值在 3~5 倍	已钻水平井与邻直井（或定向井）原油产量的比值一般在 3~6 倍之间（据攻关初期投产的 47 口水平井分析）。已钻水平井单井日产最高产量为原油 1030t，天然气 23.0m^3
投入产出	投资约 1.4421 亿元	产出：据已投产的 47 口水平井分析，47 口水平井增产原油 76.48 万 t，共计 8.0659 亿元

注：本表“实际完成情况”一栏系 1995 年 1 月以前统计数字。

第三节 重大成果

(1) 取得了 30 项技术成果, 其中重大成果 16 项, 提前一年超额完成了合同规定的任务, 达到或超过了合同规定的全部技术指标, 形成了一套长、中半径水平井钻井、完井技术, 取得了显著的经济、社会和环境效益。水平井钻井水平总体达到了 90 年代初国际先进水平。所取得的 16 项重大科研成果为:

①建立了水平井地质优化设计方法。

②建立了在两个不确定性条件下的水平井井眼轨道优化设计方法。

③建立了水平井钻柱优化设计方法。

④研制成功水平井钻井优化设计软件包。

⑤建立了有限元法、纵横弯曲法的水平井下部钻具组合大挠度受力分析模型。

⑥建立了平衡曲率法和极限曲率法的水平井井眼轨迹预测模式。

⑦形成了水平井和丛式水平井的轨迹控制工艺技术。

⑧研制成长、中半径水平井的井下专用轨迹控制工具, 并形成系列, 还研制成了短半径水平井的井下轨迹控制工具。

⑨研制成水平井取心工具及配套的取心工艺技术。

⑩研制成适用于六类油藏的 10 种水平井钻井液、完井液体系。

⑪根据水平井非牛顿流体偏心环空流场的研究成果, 建立了水平井水力参数和钻井液流变参数的设计方法。

⑫掌握了不同类型油藏的长、中半径水平井的多种完井方法。

⑬建立了水平井套管大挠度受力分析方法, 热采水平井温度场和套管热应力分析计算方法。

⑭研制了保证水平井套管居中的弹性限位和螺旋刚性扶正器以及相应的扶正器布放设计方法; 研制成功零自由水低失水水泥浆, 保证了水平井固井质量。

⑮研制成功与测井装备配套的钻杆输送式测井工具系列和水平井测井资料处理软件。

⑯研制成在水平段中长井段和大跨距射孔工艺技术，以及射孔测试联作管柱作业方法。

(2) 形成了适合六种油藏的水平井钻井成套技术。

(3) 培养和锻炼了一批科技和生产管理人才，为建设跨世纪高水平的科技队伍打下基础。

结合攻关，有关院、所、学校在培养了一批硕士研究生和博士生的同时，还造就了一批专业知识扎实、工程设计能力强的开发型人才，以及既掌握专业知识又兼有多领域知识的复合型科技人才队伍。

第四节 钻井周期

大庆攻关集团所钻的前三口水平井，油层厚度一口比一口薄，水平段长度一口比一口长，完井周期一口比一口短，并创造了在4~6m薄油层钻成水平段809.76m的记录，反映了水平井钻井技术逐步配套完善、熟练掌握的程度，表明我国已形成了一套成熟的长、中半径水平井钻井技术。辽河攻关集团所钻四口水平井越钻越快，第四口井与第一口井相比钻具组合减少了40%，钻井周期缩短了一半，钻井成本与直井钻井成本之比由初期的5.96倍降至2.99倍。

胜利攻关集团水平探井建井周期由初期的112d（埕科1井）减少到82d（水平4井）；稠油砾石油藏水平井建井周期由初期的57d降低到平均建井周期22d，最快为17d（草南平10井）；钻井周期由初期的44d，降低到平均钻井周期17d，最快为12d。在乐安油田草南区块的10个平台采用水平丛式井技术，完成了11口长裸眼水平井、29口定向井、2口直井共42口井，其中水平井平均钻井周期为15d、建井周期为22d。

第五节 油藏类型

六个攻关集团掌握了六类油藏的水平井钻井技术:

(1) 新疆火山喷发岩裂缝性油藏水平井钻井技术:以裂缝性油藏为主,稠油、砂岩油藏为辅。承担单位是新疆石油管理局、西南石油学院,钻成各类水平井7口。

(2) 大庆油田低渗透砂岩油藏水平井钻井技术:以低压、低渗、低产油层为主。承担单位是大庆石油管理局,大庆石油学院,石油勘探开发科学研究院,钻成水平井3口。

(3) 大港低渗块状砂岩油藏水平井钻井技术:以低渗透块状砂岩油藏为主。承担单位是大港石油管理局、石油大学,钻成各类水平井3口。

(4) 辽河油田稠油油藏水平井钻井技术:以稠油油藏为主。承担单位是辽河石油勘探局,大庆石油学院,西南石油学院,钻成各类水平井4口。

(5) 华北油田裂缝性碳酸盐岩底水油藏水平井钻井技术:以裂缝性碳酸盐岩底水油藏为主。承担单位是华北石油管理局,石油勘探开发科学研究院,钻成水平井1口。

(6) 胜利油田水平井钻井技术:以屋脊式不整合油藏、低渗透块状砂岩油藏、稠油砾石油藏、调整区断块砂岩油藏、石炭系东河砂岩油藏为主。承担单位是胜利石油管理局,钻成各类水平井29口。

第六节 钻井实例

六个攻关集团所钻47口水平井中,第一口完钻的长半径水平探井是胜利攻关集团的“埕科1井”,斜深2650.13m,垂深1874.58m,水平段长505m,发现油层21层共211.5m,取得了相当于12口直探井的勘探效果,初产达230t/d,是相邻直井日产的5~6倍。第一口完钻的长半径开发水平井是新疆集团的“HW101