



13

大港油田科技丛书编委会编

钻井工程技术

(中)



石油工业出版社
PETROLEUM



INDUSTRY PRESS

135351	
TE2	
020	

大港油田科技丛书 13

钻井工程技术

(中)

大港油田科技丛书编委会编

5071/50



石油大学0135527

石油工业出版社

内 容 提 要

本分册包括《钻井技术》的第五、六、七章。第五章阐述了大港油田自1964年以来开展优质快速钻井（特别是1977年以来开展喷射钻井和优选参数钻井）的经验，包括喷射钻井，合理井身结构的采用，钻井液有关性能、钻头类型、钻压转速和下部钻具组合的优选。第六章阐述了大港定向井技术服务公司1982年以来定向井钻井的经验，包括定向井水平井轨道设计、现场施工、专用钻具和工具、轨迹测量仪器。第七章阐述了大港油田进行近平衡压力钻井和井控方面的实践，包括地层孔隙压力、破裂压力和坍塌压力的估计，合理钻井液密度的确定，井控技术和设备，井喷失控的实例。

本书可供大港油田中青年钻井技术人员、各级管理干部和非钻井专业的技术人员阅读，也可供兄弟油田有关人员和石油院校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

钻井工程技术（中）/大港油田科技丛书编委会编．

北京：石油工业出版社，1999.9

（大港油田科技丛书；13）

ISBN 7-5021-2731-3

I．钻…

II．大…

III．油气钻井—经验

IV．TE242

中国版本图书馆 CIP 数据核字（1999）第 43673 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）

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 12 印张 300 千字 印 1—2300

1999 年 9 月北京第 1 版 1999 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2731-3/TE·2146

定价：56.00 元（共三册） 本册定价：21.00 元

大港油田精神文明丛书总编委

主 任：王 鹏 姚和清

副 主 任：张德寿（常务）

主任委员：孙希敬 陈玉瑾 高兰成 朱敬成 郭德宝 张大德
俞叔武 于庄敬 薛士荣 刘志谦 王鹤龄 于树方
蒋永佑 华勇魁 于秋云 王兴隆 段新坎 黄建庆
李润寿 张国欣

大港油田科技丛书编委

主 任：孙希敬

副 主 任：张大德 于庄敬（常务） 薛士荣

委 员：吴永平 曲经文 周嘉玺 李文瑞 马世煜 毛立言
宋伯韬 周学仁 李学文 刘鸿斌 牟祥汇 孙宝绪
李 淦 王巧月

序

大港油田三十多年来在勘探、开发和建设方面都取得了长足的进步，物质文明和精神文明建设结出丰硕成果，创造了许多成功经验，这些都是广大职工共同努力，发扬艰苦奋斗、顽强拼搏、无私奉献的创业精神的结果。为了使这些成果和经验系统化、理论化，形成财富，促进油田勘探开发建设进一步发展，经济效益大幅度提高，大港油田领导提出编写大港油田“科技丛书”的设想。这个安排引起油田党委的重视，经过认真研究，决定扩大“丛书”编写范围，于1997年5月油田党、政联合下发文件，决定编撰“大港油田精神文明建设丛书”，成立了精神文明建设丛书编委会，下设七个系列，“科技丛书”是其中之一，并成立了编委会。

“科技丛书”怎样写，以哪些读者为对象，写成什么样的书，对这些问题我们花费了较长时间，听取了各方面的意见，进行广泛深入讨论，逐渐形成了明确的指导思想。大家认为这套“丛书”应有独特的品质，它不同于教科书，不同于科普读物，不同于论文集，不同于经验总结（成果汇编），也不同于工具手册。要突出“科技”和“大港”两个特色。“科技”特色是总结大港油田三十多年极其丰富的科学技术实践和创造发明，做到有理论基础、方法原理、实用程序和实践成果，在“科技”，特色的基础上，突出“大港”特色，写出大港发明创造的技术，在国内外有影响的技术，使用过的技术，试验过的技术，并有成功和失败的实例分析，还要讨论一些技术的实用性和发展方向，全书不是简单的技术描述和实际案例分析，而是一次再提高再创造，使读者特别是中青年科学技术人员和各级管理干部，还有非本专业的技术人员，有原理可查，有方法可学，有实例可看，有经验可借鉴，起到承上启下的作用。

这套“丛书”为广大读者提供大港油田科技发展的历程。大港油田三十多年的发展建设经历了风风雨雨，有成功的经验和失败的教训，学会借鉴前人的经验和教训，少走弯路，杜绝重复劳动，对我们事业的兴旺发达和科技人员成长都有一定的好处。“丛书”还展示了大港油田的科技全貌，反映了大港油田的技术状况，为广大青年技术干部，各级管理人员和非本专业技术干部了解油田技术状况修通了高速公路。还应说明，活跃在大港油田勘探开发早、中期各条战线的技术骨干，现在多数已经退休，在工作上完成了交接。有许多退休老专家参加“丛书”的编撰工作，把他们多年积累的宝贵经验留下来，也算老专家们技术上对大港油田的干部职工有了个好交代。这套“丛书”正式出版适逢大港油田勘探开发建设三十五周年之际，谨以此书献给为大港油田建设做出卓越贡献的人们。

这套“科技丛书”，按照油田的习惯说法，包括十个专业共24册约800万字。即：

- 第一册 勘探历程与经验
- 第二册 第三系石油地质基础
- 第三册 油气藏与分布
- 第四册 新区、新层系、新领域
- 第五册 地质实验技术
- 第六册 地震勘探资料采集技术

- 第七册 地震勘探资料处理和解释技术
- 第八册 大港油田开发实践
- 第九册 枣园高凝高粘中低渗断块油田开发
- 第十册 提高采收率技术
- 第十一册 油气藏探边测试方法与应用
- 第十二册 钻井工程技术 (1)
- 第十三册 钻井工程技术 (2)
- 第十四册 钻井工程技术 (3)
- 第十五册 滩海工程技术
- 第十六册 录井技术
- 第十七册 测井技术 (1)
- 第十八册 测井技术 (2)
- 第十九册 电泵采油与分层注水
- 第二十册 防砂工艺技术
- 第二十一册 压裂与酸化工艺技术
- 第二十二册 试油与油井大修
- 第二十三册 油田地面工程设计与施工
- 第二十四册 石油炼制

为了编撰好“丛书”，确保达到设计要求，使各分册有个好质量，编委会认真研究精心设计各册编写提纲，这是写好“丛书”的基础。安排章节的作者力争由学科带头人执笔，分册负责人全文贯通，提出修改意见、把关，负责完成初稿，这是保证“丛书”质量的重要环节。然后由编委会组织 6 至 7 名专家进行审查定稿。尽管这方面我们做了不少工作，由于水平有限，错误在所难免，敬请读者批评指正。

孙希敬

1999 年 2 月 4 日

前 言

在大港油田集团有限责任公司的关怀下,在钻井工程公司、定向井技术服务公司和钻采工艺研究院的支持下,各章作者遵照编写指导思想,突出两个特色,经过辛苦努力,完成了本分册的编写。

本分册为《钻井技术(中)》,包括第五、六、七章。在第五章中,回顾了大港油田自1964年开始勘探开发以来优质快速钻井技术的发展概况,侧重介绍了1977年以来开展喷射钻井和优选参数钻井的历程和经验,然后分别阐述了六个方面内容:喷射钻井(水力参数优选),包括规范地采集原始数据,准确地计算实际水力参数,采用大港研制的间断水射流工具;合理的井身结构,说明井身结构与优质快速钻井的关系,列举正反两方面的实例;钻井液有关性能的优选,包括使用合理的钻井液密度和流变参数;钻头类型优选,包括采用微钻速对大港油田岩石进行可钻性分析的研究成果和应用情况,自制刮刀钻头的两次改进和推广,应用,国产三牙轮钻头新产品的选用;钻压和转速的优选,包括直井和定向井实际钻压的准确计算,滑动轴承三牙轮钻头钻压与转速乘积值的意义和应用,钻压和转速对PDC钻头的不同影响;下部钻具组合的优选,分别说明大港油田使用满眼、钟摆和防卡钻具组合及实例,介绍了自行研制的保持钻压平稳的悬浮器。在第六章中,介绍了大港油田自1973年以来钻定向井和水平井的经验,侧重阐述1982年大港定向井技术服务公司成立以来通过对国内外技术服务取得的经验,包括四个方面内容:定向井、水平井轨道设计;定向井的现场施工,依据大港油田实践,结合地层特点,列表详细说明了常规钻具组合及钻进参数,具体说明定向造斜和斜井段的施工以及轨迹计算和绘图方法;专用钻具和工具,分别介绍了大港定向井公司使用的井下动力钻具、导向钻井系统和套管开窗工具,还介绍了大港油田自行研制的轴向加压装置;定向井轨迹测量仪器,详细说明了大港定向井公司引进和自制的磁性单点和多点照相测斜仪、有线随钻测斜仪和MWD无线随钻测斜仪,还介绍了国内近年引进的LWD随钻录井仪。在第七章中,主要介绍大港油田长期以来进行近平衡压力钻井和井控方面的实践,侧重说明应用声波时差法测定孔隙压力、钻调整井的经验和井喷失控的实例,包括近平衡压力钻井的概念,地层空隙压力、破裂压力和坍塌压力的确定,合理钻井液密度的确定、井控技术和井控设备。

本分册在引用有关专业书刊和行业标准时,只注明引用的书刊和标准,而不重复其内容。读者在阅读本分册时,请参阅有关行业标准和以下书籍:《钻井手册(甲方)》上册和下册(1990)、李克向主编《保护油气层钻井完井技术》(1993)、韩志勇编著《定向井设计与计算》(1989)、孙振纯等编《井控技术》和《井控设备》(1997)、中国石油天然气总公司勘探局编《油气钻探新技术》(1998)。

本分册由沙润荣主编第五章由刘学领编写,沙润荣初审;第六章第五节由运志森编写、其余各节由许金福编写,许钰初审;第七章第一和第三节由宋继仁编写、第二节由宋继仁和谢玉坚编写、第四至六节由李宗智编写,苗树富初审。由沙润荣全文贯通。由孙希敬、曲经文、许钰、苗树富、吴克信、王廷文和夏煜高代表科技丛书编委会审定。在编审中王巧月和赵承恩做了许多协调工作。

本分册作者虽然尽了最大努力，但限于水平，离“科技系列丛书”的要求尚有差距，敬请读者见谅和指正。

《钻井工程技术》(中)编写组

1998年12月

目 录

第五章 优质快速钻井技术	(1)
第一节 优质快速钻井技术的发展	(1)
第二节 喷射钻井及优选参数钻井技术概述	(2)
第三节 喷射钻井(水力参数优选)	(6)
第四节 采用合理的井身结构	(15)
第五节 钻井液有关性能的优选	(16)
第六节 钻头类型优选	(21)
第七节 钻压和转速的优选	(33)
第八节 下部钻具组合的优选	(38)
第六章 定向井钻井技术	(46)
第一节 概况	(46)
第二节 定向井的基本概念	(52)
第三节 定向井水平井轨道设计	(54)
第四节 定向井的现场施工	(65)
第五节 水平井现场施工技术	(85)
第六节 定向井井下复杂情况处理及预防	(95)
第七节 专用钻具和工具	(97)
第八节 定向井轨迹测量仪器	(112)
第七章 近平衡压力钻井及井控技术	(143)
第一节 近平衡压力钻井概述	(143)
第二节 几种压力的确定	(144)
第三节 合理钻井液密度的确定	(160)
第四节 井控技术	(163)
第五节 井控设备	(171)
第六节 大港油田井喷失控实例及分析	(176)

第五章 优质快速钻井技术

第一节 优质快速钻井技术的发展

优质快速钻井是大庆油田六七十年代的钻井经验总结,采用高泵压、大流量、重钻压和高转速的钻井参数、刚性满眼钻具组合、钙化优质钻井液和均匀送钻等过硬操作技术,达到优质快速。原河北石油勘探指挥部(今大港油田)自1964年开始勘探开发,结合大港地层情况,发扬大庆优质快速钻井的传统,并不断发展成为喷射钻井和优选参数钻井。

开始阶段,钻机型式比较陈旧,钻井泵功率较低,净化设备简陋。在大部分井中下入很浅的表层套管或者根本不下表层套管。在钻进中,下部钻具不加稳定器,采用大流量、大水眼和低泵压钻进,不讲究利用水力功率。钻井液测量仪器陈旧落后,钻井液处理剂品种少而且性能不稳定。使用的钻头,上部地层以刮刀钻头为主,下部地层以国产普通牙轮钻头为主。但是,钻井工人发扬大庆精神,具有强烈的主人翁责任感,在较差的条件下,创下了一系列钻井新纪录:3227钻井队在1970年完成年进尺50691m;该钻井队在1972年5月实现29d钻井进尺11127m;5003钻井队在1971年完成新港57井,完钻井深5127m。但毕竟由于设备条件和技术素质较差,井下工程事故和复杂情况发生较多,1964年至1977年共完成1971口井,仅工程报废的井就有57口,占总口数的2.89%。

1978年搞钻井速度翻番,开始推行钻井三大技术(当时称高压喷射钻井、优质轻钻井液和新型钻头为钻井三大技术)。其中以高压喷射钻井为重点技术,同时开展钻井液体系革新、处理剂材料开发,推广采用喷射密封润滑(滑动或滚动)轴承镶硬质合金齿钻头(简称三合一或四合一钻头)。首先在中部地区实验,取得经验之后全面推广,钻井速度明显提高。但是由于当时机泵条件限制,泵压较低,一般在12MPa以内。随着钻井设备的更新和钻井工艺的改进,逐步推广科学钻井,按地层压力系数设计井身结构,全部井都下入表层套管,在地层压力系数相差较大的井下入中间套管,钻井安全系数大大增加;又随着诸如钟摆防斜钻具、刚性满眼钻具、井下动力钻具、新型稳定器、高效能钻头、钻具减振器、随钻震击器、悬浮钻井技术、高效能净化系统和新型钻井液体系等钻井新技术和新工具的采用和推广,泵压从12MPa逐步提高到14~15MPa,最后普遍达到16MPa以上,使得钻井的安全性和速度都有了较大的提高。钻机月速度从1977年的824m/台月逐步提高到1990年的1225m/台月。

“八五”期间,大港油田的钻井工艺技术,发展成为以喷射钻井及优选参数钻井为中心的钻井综合配套技术,同时大力进行推广。“八五”末喷射钻井上三台阶的井已经占完成井总数的94.9%,比“七五”末提高了34.5个百分点。钻机月速度、平均机械钻速、平均队年进尺等一系列经济技术指标大幅度提高,钻机月速度由1990年的1225m/台月提高到1995年的2114m/台月,提高了72.6%,机械钻速由1990年的8.13m/h提高到1995年的9.90m/h,提高了21.8%,队年进尺由1990年的12911m/队年提高到1995年的21379m/队年,提高了65.6%;1991年以后再也没有发生工程报废的井。

大港油田1964年至1997年,共钻井6459口,完成钻井进尺14268776m。

总之,大港钻井技术取得了巨大的进步,体现了“科学技术是第一生产力”,但是与东部油田先进指标相比较,还有较大差距,处于中等水平。

第二节 喷射钻井及优选参数钻井技术概述

一、喷射钻井技术发展概况

高压高速的钻井液射流不仅能有效地净化井底,而且有一定的水力破岩作用。实践证明,喷射钻井工艺技术是提高钻井速度、降低钻井成本的重要技术之一。

这项技术国外发展较早,早在30年代就开始研究,到60年代喷射钻井工艺技术已经发展成为成熟的钻井技术。

我们国内喷射钻井和优选参数钻井技术发展较晚,但是发展速度快。国内喷射钻井的研究工作开始于60年代。1964年,北京石油学院钻井教研室对淹没非自由射流特性和喷嘴结构进行了系统的试验,取得了喷嘴水力特性的有关数据,建立了各种喷嘴剖面的曲线方程。1965年至1966年我国大庆、胜利和大港等油田开始研制喷射式刮刀钻头,1975年胜利油田进行聚晶金刚石喷射式刮刀钻头和“三合一”牙轮钻头的现场试验。

1977年原石油部在华北、胜利、大港、长庆、辽河和新疆等油田开始推行钻井三大技术,把钻井三大技术作为打钻井速度翻番仗,实现石油工业高速发展的战略性技术措施来抓,明确以高压喷射钻井为中心重点技术。组织和开展喷射钻井技术攻关,举办喷射钻井技术教导队,对各油田有关人员进行培训,从1978年开始在全国各油田全面推广喷射钻井技术。

“七五”期间,在原中国石油天然气总公司的统一组织下,大力推广高压喷射钻井技术,并推广应用“六五”期间完成的“优选参数钻井技术”,进行水力参数、机械参数的优选优化,钻井液及其流变参数的优选,加长喷嘴、中长喷嘴、脉冲喷嘴和组合喷嘴钻头的优选与应用,推广应用国产休斯系列钻头、PDC钻头、开展20~25MPa高压喷射钻井,取得了良好的效果。1986年至1989年全国运用高压喷射钻井工艺技术钻成的井达到20634口,占同期完井总数的65%。1989年推广高压喷射钻井技术的队伍,平均机械钻速为8.33m/h,比同期全国平均机械钻速(7.79m/h)高出0.54m/h,提高幅度为6.93%。

大港油田搞喷射钻井技术,主要从1978年开始,可分为以下几个阶段:

1) 试验阶段(1978年至1979年)。在此阶段,主要抓了组织和培训工作。首先在32221钻井队进行初步试验,重点在3227钻井队进行试验,总结出经验,形成了中部地区喷射钻井工艺定型方案。由于机泵条件限制,当时泵压只能限制在13MPa以内,相当于一台水平。1978年交井131口,喷射钻井上台阶的19口,占完成井总数的14.5%,钻机月速度1265m/台月,比1977年的705m/台月提高了79%;1979年交井166口,喷射钻井上台阶的31口,占完成井总数的19.4%,钻机月速度1376m/台月,又比1978年提高了8.77%。

2) 普及阶段(1980年至1983年)。在此阶段,由中部地区推广到北部和南部,由直井推广到定向井,并且在推广中有了发展和提高,泵压从13MPa提高到14~15MPa,一部分井队达到17MPa以上。这一阶段主要做了以下工作:

在中部和南部地区深井,3000m以内采用双泵 $\phi 150$ 缸套(当时配备的是双缸双作用600泵),井深超过3000m的井采用单泵 $\phi 150$ 缸套;北部地区又尝试在中间套管井深以前

采用双泵 $\phi 140$ 缸套, 其余井深采用单泵 $\phi 150$ 缸套。都取得了较好的效果。

在喷嘴匹配上, 由等直径三喷嘴发展为不等直径组合喷嘴, 1980 年开始在四个井队试验双喷嘴, 1982 年又在小集地区试验了长喷嘴, 试验结果是双喷嘴和长喷嘴都可以使钻井速度提高 10% 以上。

在定向井中推广喷射钻井工艺技术, 配合采用聚合物钻井液和高效能钻头, 钻井速度明显提高。

采用 TI-59 可编程计算器进行喷射钻井水力参数的核实、分析和优选。1982 年在小集地区, 重点在两口井上进行优选水力参数试验, 在此基础上总结出该地区的最优工作方式和分层水力参数适用范围。

1983 年钻井一公司交井 145 口, 其中一台阶的 86 口, 占交井总数的 58.9%, 二台阶的 35 口, 占交井总数的 23.9%, 达到三台阶的 6 口, 占交井总数的 4.1%。表现较好的如 32431 井队: 在平均井深增加了 541m (1983 年平均井深 2437m, 1982 年平均井深 1896m) 的条件下, 1983 年钻井进尺比 1982 年差不多翻了一番 (1983 年进尺 23334m, 1982 年进尺 12630m, 提高了 84.75%), 钻机月速度提高了一倍多 (1983 年 2934m/台月, 1982 年 1262m/台月, 提高了 132.49%)。

3) 全面提高阶段 (1984 年至今)。1983 年 7 月根据原石油部对喷射钻井上台阶的要求, 明确了三个台阶的标准, 执行了相对于三个台阶的配套标准, 强调“四个提高”、“两个适当缩小”、“六个参数选择”和“一个效益”。并且提出各级各路都要以喷射钻井上台阶为重点, 带动其他各项工作的开展。

1984 年年初有 44 个钻井队, 年底统计 52 个钻井队 (从长庆油田调来的 15 个钻井队逐渐配套投产)。到年底按喷射钻井三个台阶的配套标准进行考核, 全部达到上台阶标准 (一台阶 18 个, 二台阶 19 个, 三台阶 15 个)。1984 年全年完成 206 口井, 达到上台阶标准的 167 口, 占完成井总数的 81.1%。一台阶 90 口, 平均井深 2837m, 平均机械钻速 5.3m/h; 二台阶 60 口, 平均井深 2864m, 平均机械钻速 6.3m/h; 三台阶 17 口, 平均井深 3316m, 平均机械钻速 7.0m/h。上二台阶的井比一台阶的井提高机械钻速 18.9%; 上三台阶的井比二台阶的井在井深增加 452m 的情况下提高机械钻速 11.1%, 比一台阶的井提高机械钻速 32.1%。

1984 年在南部小集地区做的相同井深不同台阶情况对比是, 三台阶机械钻速为 8.82m/h, 二台阶机械钻速为 7.50m/h, 一台阶机械钻速为 5.76m/h。上三台阶的机械钻速分别比一、二台阶的提高了 53.1% 和 17.6%。

为了进一步做好喷射钻井推广工作, 为现场工程技术人员提供方便, 1985 年, 油田钻井处组织编制了“喷射钻井现场实用手册”, 对台阶的划分、计算方法等内容做了重申和整理。主要内容有: 喷射钻井上台阶三个台阶 (划分) 概念、采用工程单位制计算公式、采用国际单位制计算公式、组合喷嘴截面积便查表、井身质量标准表。

1986 年管理局组建喷射钻井领导小组, 钻井工程公司也对喷射钻井工作加强了组织领导, 对喷射钻井领导小组进行了充实调整, 在公司及其下属的钻井一、二、三分公司组建了喷射钻井技术推广领导小组。为适应提高喷射钻井工艺技术的需要, 1986 年新增了 20 台 3NB-1000 泵, 总数达到 90 台。至 1987 年初, 装备双 1000 泵的队达到 29 个, 单 1000 泵的队 28 个 (另一台为 600 或 800 泵), 另外新增了两台 1300 泵, 装备 6000m 钻机。净化系统和高压管汇系统也进行了充实。

1988年钻井工程公司为推广应用新工艺、新技术,组建了新技术服务队,重点抓喷射钻井技术推广,坚持以全井高泵压为重点,优选钻头、优选喷嘴、优选钻具组合、优选钻井参数、优选水力参数、优选钻井液性能。

“八五”期间,加大了设备更新改造力度,着重对1300钻井泵进行更新和改造,逐步淘汰1000钻井泵。配套大功率钻井泵的队数由“七五”末的50.7%提高到“八五”末的100%(到1995年底45个钻井队全部配备了1300钻井泵);300kW发电机,“七五”末仅有6台,占钻井队用发电机的4.5%，“八五”末配套达到22台,占钻井队用发电机的24.4%;固控设备,“七五”末主要以二级净化为主,“八五”末全部达到三级净化或四级净化,部分井队达到五级净化;井控装备,由“七五”末不配套、不齐全,到“八五”末防喷器、节流管汇及压井管汇配套率达到100%;液压大钳,由“七五”末仅有一台,到“八五”末45个钻井队全部配备了液压大钳;井场电路、空气干燥系统、水刹车等也进行了部分改造或更新。工艺装备的更新改造,对推广以喷射钻井为中心的综合配套钻井技术、提高各项经济技术指标起到了重要保证作用。

在此期间进行了20~25MPa高压喷射钻井试验,并且推广了74口井,平均井深2738m,平均钻机月速度达到1936.47m/台月,平均机械钻速9.42m/h,平均钻井周期36.78d。与具有可比条件的邻井相比较,机械钻速和钻机月速度分别提高24.7%和27.5%,钻井周期缩短10.5d,平均每米钻井成本节约56元。

随着钻井设备、工具和钻井液技术的不断改进和发展,更加显示出喷射钻井的潜力,促使此项技术不断得到完善。

二、从喷射钻井到优选参数钻井

喷射钻井的基本工作原理是通过提高泵压和选择合理的喷嘴,来提高喷射速度、钻头水功率和冲击力,改善井底流场,提高清洗井底的效率,同时起到水力破岩作用,从而达到提高钻井速度的效果,概括地说,喷射钻井主要解决水力参数优选的问题。

但是,要实现优质快速钻井,仅有水力参数优选是不够的。早在80年代初,原石油部即组织了对优选参数钻井技术的研究,被列为“六五”国家科技攻关项目。在此项攻关和各油田推广喷射钻井的基础上,于1988年下发了“关于进一步推广和发展优选参数钻井技术的通知”。提出了必须明确的六个概念、设计上要搞好的六项内容和钻井队要做好的六项工作。

优选参数钻井是喷射钻井和平衡压力钻井的继续和发展。是以计算机为手段,运用最优化工理论和方法,对影响钻井效果的主要钻井参数建立优选、优配、定量计算的数学模型与计算机程序,从可行方案中寻找在一定约束条件下达到最低成本的最佳设计方案,运用优控施工工艺使钻井的整体经济效果最优的科学方法(根据行业标准SY/T6201-1996)。

1988年“通知”中提出六个概念是:

- 1) 在优选参数钻井中,最重要的参数是泵压和比水功率;
- 2) 要充分认识水力和机械因素的联合破岩作用;
- 3) 多数地区应推广采用不分散钻井液体系代替分散钻井液体系;
- 4) 正确认识和应用环空流变学;
- 5) 要依据地质部门提供的地层空隙压力和破裂压力,实现近平衡压力钻井;
- 6) 要严格按照钻头厂家推荐的钻压与转速的乘积值,根据所钻地层的岩性和成本最低的原则,选择好钻头类型与钻压、转速,还要加强数据采集系统。

设计上要搞好的六项内容是：

- 1) 合理的井身结构和套管程序设计；
- 2) 合理的水力参数设计；
- 3) 钻井液设计（钻井液体系类型、性能、流变参数）；
- 4) 确定适合各井段的钻头类型及相应的工作参数；
- 5) 钻压、转速的计算；
- 6) 底部钻具组合选择。

钻井队必须做好的六项工作是：

- 1) 坚持全井高泵压钻进；
- 2) 选择好钻头类型使用好组合喷嘴，牙轮钻头选用组合喷嘴时应注意三点：

①一般应按照上部一大两小（推荐“两小”是等径喷嘴），下部一大一小的原则进行喷嘴组合；

②应加大组合喷嘴直径差，一般推荐大小喷嘴直径比在 1:0.60 至 1:0.68；

③现场应配齐各种喷嘴及装卸工具。

3) 采用不分散低固相钻井液，用好包被处理剂，坚持用好三级净化系统（开动率分别是：双振动筛 100%，除砂器 80%，除泥器 60%），控制固相含量，使用好旋转粘度计，按设计调整好钻井液性能。

4) 有条件的地区要采用 dc 指数法随钻监测地层孔隙压力，及时调整好钻井液密度。

5) 严格控制提放钻具速度，防止产生过大的激动压力和抽汲作用，引起不必要的井塌、井漏、井喷等事故。

6) 维护保养好钻井仪表，取全取准地质和工程资料。

依据“通知”精神，在 1988 年，钻井工程公司成立了新技术服务队，在喷射钻井的基础上推广优选参数钻井，拟订了段六拨、风化店和舍女寺区块的优化设计方案，包括优化井身结构、坚持高压喷射、使用刮刀钻头和高效能牙轮钻头、提高钻压转速、采用聚合物钻井液和钾盐钻井液、采用刚性满眼钻具组合等。新技术服务队深入一线作技术指导，使钻井队掌握和运用新技术，做好上述六项工作，取得了明显的成绩。

1993 年大港油田开展的典型科技示范工程——“21891”科技工程，是推广应用以喷射钻井及优选参数钻井技术为中心的八项综合配套技术的典型范例，实现了平均钻机月速度 2123m/台月，平均机械钻速 10.03m/h，生产时效 90.88% 的好成绩，创经济效益 2031 余万元。

三、喷射钻井和优选参数钻井的一般程序

喷射钻井和优选参数钻井一般按下述程序进行：

首先根据设计井深、井身结构、井身质量要求和钻头预计进尺，按实际情况把全井分成几段，在每一段内：

- 1) 根据井深、井身结构和井身质量要求，优选下部钻具结构组合；
- 2) 根据地层的适应性和井身结构及其质量要求，优选钻头类型、钻井液体系和性能参数；
- 3) 依据井身质量要求、下部钻具组合、钻头尺寸和型号，优选钻压、转速；
- 4) 根据井眼情况、钻井液性能参数、流变参数和预测的钻速，确定最低环空返速和流量；

5) 选择工作方式(最大水功率、最大冲击力),根据泵功率、选择的缸套(额定工作压力),初步选择功率分配比值和最优流量,计算临界井深和循环压力损耗,选择喷嘴总截面积;

6) 根据初步选择的喷嘴总截面积,优选喷嘴组合。根据所选的喷嘴组合,计算钻头水力参数。然后对第5)步骤所涉及到的各种数据进行校核;

7) 经过多次第5)步和第6)步的重复计算和校核,最后达到设计计算值与校核值接近,就可以确定缸套尺寸、流量和喷嘴组合。

经过上述7个步骤(其中第5)步和第6)步是个多次反复过程),才能完成一个井段的参数优选工作。

然后,对全井各个井段进行优选,依次对下一个井段进行优选时,可依据和参考上一井段的数据。

第三节 喷射钻井(水力参数优选)

一、准确计算实际水力参数

1. 原始数据采集

在喷射钻井和优选参数钻井中,要求计算出准确的水力参数(包括设计和实际值)。而这些参数都是根据实际流量计算的,因此,首先要求准确算出流量。为此目的,关键在于采集的原始数据要准确,其中主要的有泵压、钻井液密度、塑性粘度、喷嘴直径、钻具与井眼的几何尺寸、泵冲速等,宜按近似数截取和运算方法,进行各项原始数据的采集并输入计算机。当遇到异常情况时,又须另行处理。

(1) 泵压

要求压力表灵敏准确,在使用普通喷嘴的牙轮或刮刀钻头时,取钻进时的立管压力。鉴于在用压力表的精度等级一般为2.5或1.5级,压力值要取3个有效数字,如18.6MPa,17.2MPa等。但是,如果遇到下列情况时,则需另行考虑泵压的采集和输入:

1) 当使用长喷嘴、PDC钻头或刮刀片磨短(秃)时,要采集钻头离开井底时的立管压力,因为在这些情况下钻进时泵压比钻头离开井底时要稍微高一些。

2) 如果钻井液动切力过大或者发生井塌,都将引起泵压异常升高,这些压力值不宜采用。

3) 在 $\phi 311.1\text{mm}$ (或者更大)井眼中,如果机械钻速较高或流量较小,导致环空钻井液密度增高,于是环空静液柱压力大于钻具内的压力,这部分压力差就会反映到泵压的增高上来,为此,须将采集的泵压减去此增值后,才可以作为输入数据,为清楚起见,举例(例1)如下:

例1: 女72井用 $\phi 311.1\text{mm}$ 牙轮钻头钻至480m时泵压表显示15.2MPa,机械钻速很高(180m/h),钻井液入口密度为 1.03g/cm^3 ,估计流量为56.5l/s,求输入泵压值。

解: 机械钻速 $=180\text{m/h}=3\text{m/min}$

井眼容积 $= (4\pi) \times 0.311^2 \times 1 = 0.0761\text{m}^3/\text{m}$

每分钟产生的钻屑体积 $= 0.0761 \times 3 = 0.228\text{m}^3/\text{min}$

每分钟产生的钻屑质量 $= 2.5 \times 0.228 = 0.57\text{t/min}$

每分钟进入环空的钻井液体积 $= 56.5 \times 60 / 1000 = 3.39\text{m}^3/\text{min}$

每分钟进入环空的钻井液质量 = $1.03 \times 3.39 = 3.492 \text{ t/min}$

环空钻井液密度 = $(3.492 + 0.57) \div (3.39 + 0.228) = 1.123 \text{ g/cm}^3$

环空与钻具内压力差 = $(1.123 - 1.03) \times 9.81 \times 480 \times 10^{-3} = 0.44 \text{ MPa}$

因此,采集泵压值应该是泵压表读数减去 0.44 MPa ,即 $15.2 - 0.44 = 14.8 \text{ MPa}$,作为泵压的输入数据。

4) 如果发现泵压降低较多,又排除了地面因素,可能是喷嘴掉了或者是钻具刺坏了,在这种情况下就不能照搬正常条件下的计算方法。这时,各项原始数据仍须按规定采集好,等起钻后根据结果再进行计算。如果是喷嘴掉了,那么计算时把掉的那个喷嘴的直径改为喷嘴的外径值,然后照常输入其他各项数据,即可计算。如果是钻具刺坏了,因为刺穿的孔洞形状不规则,面积计算不准确,所以一般的短路泵压不作为采集数据进行计算。

5) 在开双泵钻进时,如果配备的两台泵容积效率显著不同,算出的实际流量没问题,而容积效率是两台泵的平均容积效率,不能反映各泵的真实工作状态,所以应分别计算它们的容积效率。为此,除了采集开双泵时的数据之外,还需要采集一次开单泵(其中一台)时的原始数据,分别计算它们的容积效率。为清楚起见,举例(例2)如下:

例2: 女25-1井配备一台3NB-1000泵和一台NB₈-600泵,在井深1324m时开双泵,3NB-1000泵装 $\phi 170 \text{ mm}$ 缸套3个阀,122冲/min;NB₈-600泵,装 $\phi 150 \text{ mm}$ 缸套2个阀,60冲/min。泵压13.0MPa。求每台泵的容积效率。

解: 将这些原始数据输入,算出实际排量为 38.1 l/s ,容积效率为 85.0% ,这是两台泵的平均容积效率值。下面分别计算各泵的容积效率。首先采集开单泵的原始数据,本例中曾在井深1272m时开过单泵(3NB-1000泵),缸套、阀数和冲速同上,泵压为 8.5 MPa 。据此算出3NB-1000泵的实际流量为 30.8 l/s ,容积效率为 95.0% ,随之即可算出NB₈-600泵的实际排量为: $38.1 - 30.8 = 7.3 \text{ l/s}$,其实际容积效率仅为 59.0% 。

(2) 钻井液密度与塑性粘度

密度取三个有效数字,塑性粘度取两个有效数字。如果密度超过 1.68 g/cm^3 ,计算的准确度将降低。

(3) 喷嘴直径

要求准确测量,读数截取到百分位,如 9.52 mm , 8.00 mm , 14.29 mm 等。

(4) 钻铤与钻杆接头内径

要求用游标卡尺测量,读数截取到十分位,如 71.4 mm , 95.2 mm 等。要求测量每根钻铤的内径,然后计算它们的算术平均值;对相同内径的钻杆接头采用抽样测量,求出平均值;如果钻杆接头中不止一种内径,如 $\phi 127.0 \text{ mm}$ 钻杆接头内径就有 95.2 mm 和 88.9 mm 等,那么就需要计算各占多少,再求加权平均值。总之,都应取平均值作为输入数据。

(5) 钻杆内径与外径

采用手册提供的数据,内径截取到十分位,例如 $\phi 127.0 \text{ mm}$ 钻杆内径为 108.6 mm ,外径截取到个位,如 127 mm 。

(6) 立管、水龙头、水龙头冲管与鹅颈管、方钻杆的内径与长度

有的计算程序(例如“美国钻井手册”中的计算程序)计算地面设备压力损耗时,需要按地面设备(立管、水龙头、水龙头冲管与鹅颈管、方钻杆)组合进行分类,然后再根据所分组类进行查表或者计算。在这种情况下,就需要对立管、水龙头、水龙头冲管与鹅颈管、方钻杆的内径与长度进行测量。可采用实际测量值或者手册提供的数值,截取到十分位。

(7) 钻铤外径和钻杆接头外径

要求用外卡尺（外卡钳）测量，数值截取到个位，如 178mm，162mm 等。要测量每根钻铤的外径，然后计算它们的算术平均值；对于钻杆接头外径，进行抽样测量，再求算术平均值。总之，都应取平均值作为输入数据。

(8) 井径

计算水力参数时一般还没有实际测量数据。一般取钻头直径或中间套管内径作为井径，数值取到个位，如 216mm，224mm，241mm 等。在二开井中，如果用 $\phi 222\text{mm}$ 的刮刀钻头二开，其后用 $\phi 215.9\text{mm}$ 的牙轮钻头钻进，则需要求加权平均值。在三开井中，若三开用 $\phi 215.9\text{mm}$ 钻头，技术套管内径为 224mm，也需要求加权平均值作为输入值。

(9) 钻杆、钻铤长度与井深

要丈量每一根钻杆和钻铤。钻杆、钻铤长度与井深数值都截取到百分位，如 158.72m、2119.45m 等，记入钻具记录和班报表中。用于计算排量的，只需截取到个位，如 159m、2119m 等。

(10) 泵冲速

如果有泵冲速表，可以直接读出数据；如果没有，要重复数两遍，以保证无误。

(11) 泵型号和缸套尺寸

必须记录下来，以便从手册或者泵说明书中查出每分钟一冲时的理论流量（即容积效率为 100% 时的流量），它也是计算流量的输入数据之一。表 5-1 中给出了一些钻井泵的每分钟一冲时的理论流量（单位为 l/s ）。

表 5-1 部分钻井泵每分钟一冲时的流量表

单位， l/s

钻井泵		缸套尺寸, mm					
制造厂家	型号	130	140	150	160	170	180
兰石	NB ₈ -600	0.2951	0.3513	0.4125	0.4769	0.5463	—
	3NB-1000	0.1560	0.1807	0.2071	0.2357	0.2664	
益都		0.2023	0.2346	0.2693	0.3065	0.3460	
兰石	3NB-1300	0.1685	0.1954	0.2244	0.2552	0.2883	0.3879
	3NB-1300C	0.2023	0.2346	0.2693	0.3056	0.3460	
益都	3NB-1300						
宝鸡	FB-1300	—	0.2346	0.2726	0.3064	0.3459	0.3878
益都	3NB-1600		0.2347	0.2694	0.3066	0.3461	0.3880
青州	SL3NB-1000A	0.2023		0.2693	0.3065	0.3460	0.3878
	SL3NB-1300A						
	SL3NB1600A						

2. 计算结果辨析

通过计算得出的实际流量，如果作为最后结果，则应截取到小数点后一位，例如 29.7 l/s ；如果作为中间结果，则应截取到小数点后两位，例如 29.73 l/s 。计算得出的容积效率，作为最后结果，应截取到小数点后一位，例如 90.2%。

对于计算出的容积效率要进行辨析。一般认为，带灌注泵的三缸泵容积效率接近