

中国石油“十五”科技进展丛书

DEVELOPMENTS IN PETROLEUM SCIENCE & TECHNOLOGY, CNPC

丛书主编：周吉平

石油地球物理测井技术进展

Developments in Petroleum Geophysical Logging Technology

主 编：王敬农
副主编：鞠晓东



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

中国石油“十五”科技进步丛书
丛书主编：周吉平

石油地球物理测井技术进展

主 编：王敬农
副主编：鞠晓东



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

内 容 提 要

本书全面介绍了近五年来中国石油测井技术取得的进展和研究成果,包括测井应用基础研究、测井新方法开发、测井装备研制、测井数据处理、测井解释评价、测井应用软件等内容。并对我国测井技术的发展进行了展望。

本书可供测井技术人员、管理人员、大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油地球物理测井技术进展/王敬农主编.

北京:石油工业出版社,2006.4

(中国石油“十五”科技进展丛书)

ISBN 7-5021-5402-7

I. 石…

II. 王…

III. ①石油工业-技术进步-中国-文集

②油气测井-文集

IV. TE-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 000420 号

石油地球物理测井技术进展

Shiyou Diqui Wuli Cejing Jishu Jinzhan

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

总 机:(010) 64262233 发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2006 年 4 月第 1 版 2006 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:21.75

字数:528 千字 印数:1—5000 册

定价:78.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

《中国石油“十五”科技进展丛书》编委会

主 任：周吉平

副主任：刘振武 白泽生 赵文智 袁士义 李庆平

成 员：（按姓氏笔画排序）

于建宁	卞德智	方朝亮	牛嘉玉	王同良	王尚旭
王敬农	孙 宁	孙为群	叶先灯	刘玉章	孙星云
张 镇	张卫国	杨 龙	沈平平	苏义脑	迟尚忠
周家尧	胡永乐	赵 明	徐春明	钱荣钧	高泽涛
董国永	窦立荣	鲍晓军	鞠晓东		

《石油地球物理测井技术进展》编写组

主 编：王敬农

副主编：鞠晓东

主要编写人员：（按姓氏笔画排序）

王敬农	毛志强	冯启宁	司马立强	朱世和	乔文孝
刘凤惠	刘兴斌	刘国强	汤天知	孙宝佃	李长文
李 宁	李国欣	肖立志	吴铭德	陈文辉	岳爱忠
周灿灿	高 杰	郭海敏	曾花秀	樊玉秀	鞠晓东

秘 书：张辛耘

序

人类进入 21 世纪，能源的全球供求矛盾呈现日益突出的态势。石油是世界能源消费的重要组成部分。近年来，随着国民经济的持续、快速发展，中国已经成为世界第二大石油消费国。如何保障我国石油安全和有效供给，已经成为我们面临的巨大挑战。

中国石油担负着保障国家油气安全供给的责任。长期以来，面对国内外竞争环境的变化，面临资源有限与需求不断增长的现实矛盾，中国石油实施技术创新战略，努力建设创新型企业，把提升自主创新能力放在突出的位置，围绕主营业务发展的需求，一手抓关键技术的攻关，一手抓技术创新能力建设，通过技术研发培育创新能力，依靠创新能力的提升，实现技术突破，使技术创新成为实现持续有效较快协调发展的重要支撑，成为建设具有较强国际竞争力跨国企业集团的重要支撑。“十五”期间，在勘探开发、炼油化工、油气储运、工程技术和软件、装备等研发领域，取得了一大批创新成果，在日益复杂的条件下，实现了石油储量和产量的稳步增长。

创新固然重要，技术的集成、有形化和共享同样重要，总结和提高非常有意义，这些都是提高科技竞争力所必须做的工作。国外的许多大型石油公司就有各专业系统、详尽、实用的技术手册，并且经常在修订。正是出于总结和提高的目的，中国石油天然气集团公司科技发展部以创新的思路，提出了组织《中国石油“十五”科技进展丛书》编写的计划，系统、全面总结中国石油五年来的科技工作，包括应用基础研究、技术开发、技术引进、技术推广与应用和装备研制等。这是十分有益的尝试，也是一项非常重要的工作，应该做好并继续做下去。

我十分高兴地看到，现在这项工作得到了大家的充分重视，进展得很顺利。《丛书》的阶段成果已经为我们编制“十一五”科技发展计划提供了重要的基础和依据；《丛书》的审稿结果也表明，我们的科技成果得到了很好的总结，体现了我们自己的专有技术、特色技术和技术集成；《丛书》的出版，我们预期也会对培养一批优秀专业人才起到重要的作用。

今年是“十一五”的开局之年，中国石油的发展也处于重要的战略机遇期。中国石油天然气集团公司召开科技大会，总结“十五”，部署“十一五”的科技工作，我们要以此为契机，进一步贯彻落实全国科技大会精神，要全面理解自

主创新的科学内涵，做好原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新。要坚定信心，坚忍不拔地建设创新型企业。在中国石油全面建设具有国际竞争力的跨国企业集团的进程中，科技工作要率先与国际接轨。值此《丛书》出版之际，我真切地希望这套书能成为记载中国石油科技发展的重要的里程碑，真诚地感谢参与研究和编撰工作的广大科技工作者。让我们继续努力，使中国石油的科技工作更加辉煌！

周群

2006 年 4 月

丛书前言

“十五”期间，中国石油天然气集团公司（以下简称中国石油）在石油天然气勘探开发、炼油化工、石油工程技术服务、石油化工产品储运和贸易以及国际业务等方面都取得了长足的发展。中国石油的规模实力和可持续发展能力显著增强，成为历史上最好的发展时期之一。

随着半个多世纪石油天然气的勘探开发，近年来我国石油工业不得不面对越来越复杂的石油地质条件和高难度的油气生产、加工环境，而中国石油“十五”以来之所以能够取得令人瞩目的成就，得益于科技发展对主营业务的技术支持。为了应对国内外竞争环境的变化，中国石油实施建设一流社会主义现代化企业和具有国际竞争力的跨国企业集团的发展战略，全面落实科学发展观，紧密围绕主营业务发展的技术需求，以“两个转变”（由跟踪模仿向自主创新的转变，由主要为国内业务提供技术支持向立足国内、大力为海外业务提供技术支持的转变）和“四个加强”（加强重大工程技术瓶颈的攻关、加强对具有自主知识产权核心技术的开发、加强对海外业务的技术支持、加强应用基础研究）的创新思路，集中组织了重大科技攻关、重大现场试验、新技术推广应用和超前储备技术研究。“十五”期间，共承担实施国家级科技项目 15 项，安排公司级科技项目 359 项，获得国家级科技奖励 29 项和一批集团公司级重大科技成果，这些创新成果有力地支持了中国石油的生产经营和各项业务的快速发展。

为了系统全面反映中国石油“十五”的科技发展和技术创新成果，中国石油天然气集团公司科技发展部决定组织编写《中国石油“十五”科技进展丛书》（以下简称《丛书》），通过系统总结，以期形成专有技术的集成，形成中国石油具有共享性质的知识体系，从而构成企业有载体的无形资产和企业文化的重要组成部分。

《丛书》以总结中国石油科技研发活动的进展为主，兼顾国内其他部门和国外的进展；以科技计划为基础，以重大研究项目或攻关项目为重点。各分册既有重点成果，又形成相对完整的知识体系，具有先进性、系统性、实用性。它是科研成果的集成，是集体智慧的结晶，是整个科技创新的精华提升和综合性总结。

从 2003 年四季度开始调研至今的两年多时间里，中国石油天然气集团公司科技发展部组织了《丛书》项目组，在充分调研的基础上设计了 14 个分册，明

确定了各分册的牵头单位及负责人，讨论确定了各分册构成内容、编写大纲，提出了各分册编写及审稿工作要求。分别于 2004 年 8 月、2005 年 7 月和 2006 年 3 月召开了三次编委会。

《丛书》编委会主任、中国石油天然气集团公司周吉平副总经理非常重视《丛书》的组织编写工作，做出了重要指示，提出了具体要求，指出《丛书》编写也是科技集成创新的一个方面：①《丛书》是对“十五”科技成果的总结、提高，是编制“十一五”科技发展规划的重要基础和依据；②《丛书》应体现出自己的专有技术和特色技术；③《丛书》对提高科技自主创新能力要发挥重要的作用；④《丛书》对培养优秀专业人才要起到重要的指导作用。

具体来说，我们组织这套《丛书》的目的，一方面是总结中国石油阶段性的科技进展，为“十一五”的工作打好基础，另一方面且更重要的是为了扩散传播和推广应用这些成果和技术。《丛书》的编写是由行政单位牵头，把学术带头人、知名专家和有学术影响的人融合在一起组成编写团队。《丛书》的编写工作有如下特点：①各单位领导高度重视，抽调精兵强将参与分册编写工作；②各分册负责人高度重视，精心组织；③编写队伍中凝聚了一大批高水平的专家，基本代表各个专业领域的最高水平；④各分册既有重点成果，又形成了相对完整的体系，体现了先进性、系统性和实用性；⑤《丛书》展望未来科技发展方向，对编制“十一五”科技计划有很好的指导作用。

经过两年多的组织编写，到 2005 年底，经过多次审稿、修改，各分册都达到了预期目标。各分册的主要内容如下。

(1) 石油科技进展综述：由中国石油天然气集团公司科技发展部牵头，负责人刘振武。该分册综述中国石油“十五”期间在石油科技各个方面的进展以及对“十一五”的展望。

(2) 石油地质理论与方法进展：由中国石油勘探开发研究院牵头，负责人赵文智。内容包括陆相层序地层学理论与方法、岩性地层油气藏理论与方法以及前陆盆地、被动裂谷盆地、叠合盆地的油气富集规律和勘探技术的新进展，油气资源评价方法体系建立与应用，前瞻性地对非常规油气资源进行了展望并总结了石油地质综合研究方法。

(3) 石油地球物理勘探技术进展：由东方地球物理勘探有限责任公司和中国石油天然气集团公司物探重点实验室牵头，负责人钱荣钧、王尚旭。内容包括地震勘探数据采集技术、处理方法、解释技术，地球物理软件、模型技术，油藏地球物理、重磁电综合勘探技术、勘探实例以及今后技术发展方向等。

(4) 石油地球物理测井技术进展：由中国石油天然气集团公司测井重点实

验室和中国石油大学（北京）牵头，负责人王敬农、鞠晓东。内容包括测井应用基础研究、测井新技术开发、测井装备研制、测井新技术推广与应用等。

（5）钻井工程技术进展：由中国石油天然气集团公司科技发展部和中国石油勘探开发研究院牵头，负责人孙宁、苏义脑。内容包括水平井钻井技术、深井超深井钻井技术、欠平衡钻井与气体钻井技术、大位移井与分支井钻井技术、固井和完井技术、钻井液与储层保护技术、海外钻井实践、钻井装备与工具以及钻井工程应用基础与前沿技术等方面的新进展。

（6）采油工程技术进展：由中国石油勘探开发研究院牵头，负责人刘玉章。内容包括采油工程方案编制、完井、人工举升、注水工艺、油田堵水调剖技术、低渗透油藏压裂酸化工艺技术、热力采油、防砂工艺技术、套损机理分析及修复防护技术、采气工艺等方面的新进展。

（7）油气藏工程技术进展：由中国石油勘探开发研究院牵头，负责人袁士义。内容包括油层物理与渗流力学的理论进展，以及油气藏精细描述与精细数值模拟技术、勘探开发一体化油气藏评价技术、不同类型油气藏开发/调整方案优化设计技术、剩余油分布预测研究形成的改善水驱技术和油气田开发规划与经济评价研究取得的新进展。

（8）提高采收率技术进展：由中国石油勘探开发研究院牵头，负责人沈平平。内容包括油藏精细描述技术，聚合物驱油技术、化学复合驱油技术，热力采油技术，注气提高采收率技术、微生物提高采收率技术以及其他提高采收率技术等方面的新进展。

（9）石油地面工程技术进展：由中国石油集团工程设计有限责任公司牵头，负责人迟尚忠。内容包括油田地面工程、气田地面工程、滩海油气田工程、腐蚀与防护、地面工程新设备与应用、计量仪表与自动化、化学药剂等方面的新进展。

（10）油气输送管道工程技术进展：由中国石油天然气集团公司管材研究所和中国石油天然气管道局牵头，负责人杨龙、高泽涛。内容包括油气管道勘察设计技术、高性能管材国产化技术、管道施工技术、管道输送技术、管道检测与完整性评价技术、腐蚀与防护技术、施工和运行管理技术等方面的新进展。

（11）石油炼制与化工技术进展：由重质油国家重点实验室、中国石油天然气集团公司催化重点实验室和中国石油炼油化工技术研究开发中心牵头，负责人徐春明、鲍晓军。内容包括重油加工、清洁油品生产和润滑油、石蜡、沥青等特色产品的生产技术等石油炼制技术方面取得的进展，基本有机原料、三大合成材料、天然气化工和化肥以及精细化工等石油化工领域的进展，以及在催

化材料、催化剂、石油化工装备和先进控制技术方面取得的新进展。

(12) 石油信息技术进展：由中国石油天然气集团公司石油经济技术研究中心牵头，负责人王同良。内容包括信息技术在石油工业上游、下游中的应用，中国石油计算机网络建设、管理信息系统、电子商务以及信息网站及门户建设等。

(13) 石油环保技术进展：由中国石油天然气集团公司质量安全环保部和环境工程技术中心牵头，负责人董国永。内容包括环保技术、石油相关污染及其控制、清洁化生产、环境影响评价等。

(14) 勘探开发集成配套技术及应用实践：由中国石油天然气集团公司科技发展部、中国石油勘探开发研究院和中国石油天然气勘探开发公司研究中心牵头，负责人方朝亮、牛嘉玉、卞德智。主要内容是围绕岩性地层油气藏、前陆盆地、老油区挖潜、边际油田、被动裂谷、复杂碳酸盐岩油气藏、复杂小断块、低渗透油藏等重大勘探开发领域，系统分析和总结了使油气勘探和开发取得重大突破的各项配套技术与方法。

以这样一个思路来组织编写这样一套《丛书》，是一个新的尝试。期待通过我们的努力，这套《丛书》能够达到预期的目的，能够得到大家的认可。我们计划今后每五年总结编写一次，形成一个模式。对每五年的科技进展进行总结、提炼、积累，让后人站在这个平台上继续攀登，加快企业对已有技术的学习应用和加快技术创新的步伐。

《丛书》的组织编写和出版工作也是一项任务量很大的工程。在两年多的时间里，组织数十个科研单位、数百名科研人员投身于其中，在完成紧张的科研和生产任务的同时，认真落实周吉平副总经理指示和要求，以高质量高标准完成了各个分册的编写工作，并不厌其烦的进行修改，达到了最终的出版要求；石油工业出版社组织一流的编辑出版力量，高质量、高标准完成《丛书》的编辑出版工作，力争把这套《丛书》出成精品图书。值此《丛书》出版之际，对所有参与这项工作的院士、专家及科研人员，对他们辛勤而杰出的工作深表感谢。

《丛书》的出版又使我们迈向了新的起点。我们在期望《丛书》发挥应有效用的同时，也真诚地希望广大科技界的同仁能不吝赐教，使《中国石油“十一五”科技进展丛书》能够编得更好。

《丛书》编委会

2006年4月

前 言

科学技术是第一生产力。地球物理测井作为一项重要的油田服务技术，被誉为储层的“眼睛”，是石油勘探和开发所不可或缺的。中国石油天然气集团公司（以下简称中国石油）瞄准“国内第一，国际一流”的发展目标，非常重视测井技术的发展，投入了大量的资金，组织优势力量开发测井新技术，产生了一大批具有重大意义的科研成果。据不完全统计，五年多来由中国石油和各油田测井公司出资研究的项目多达 150 余项，其中 21 项获省、部级科技进步奖和技术创新奖。这些成果都是我国测井技术多年的积累和沉淀，同时成为中国石油科技创新的重要组成部分。

为了全面、准确地反映“十五”期间中国石油测井技术的发展和 innovation 成果，将成果的“精华”部分提炼和展现出来，根据中国石油天然气集团公司科技发展部的安排，《石油地球物理测井技术进展》作为《中国石油“十五”科技进展丛书》的一个分册，由测井重点实验室和中国石油大学（北京）测井研究中心共同牵头，组织本行业专家编写，内容包括近五年来测井应用基础研究、测井新技术开发、测井装备研制、测井新技术推广与应用等成果。这些成果是广大测井科技人员心血的凝聚和智慧的结晶，是过去五年工作的总结，也是未来研发工作的基础。

两家牵头单位非常重视这项工作，将它作为一项大事来抓，力争把本书编成测井技术类书籍的“精品”，成立了由王敬农、鞠晓东、陆大卫、冯启宁、吴铭德、金鼎、李国欣、刘凤惠、安涛、郭海敏等十人组成的《石油地球物理测井技术进展》分册编委会。分册编委会组织召开了两次会议，广泛征求意见，讨论本书提纲和编写内容，确定各章节执笔专家。在内容编排上，考虑到测井技术体系的特点，将测井技术新进展和科研成果系统分类，编入岩石物理实验研究、测井新方法、测井装备与工艺、测井数据处理、测井资料解释与评价、油气藏测井新技术评价应用实例、测井应用软件等章节，充分保证内容的先进性、系统性、实用性和可读性。另外，由专家撰写绪论，专门作为第一章，介绍国外、国内测井技术发展现状和水平，评述国内、国外测井技术的差距，让读者对国内外测井技术水平有一个总的轮廓。在主体内容之后，还请专家对我国测井技术的发展作出预测和展望，并提出对今后发展的建议，本部分也作为独立一章编排。

测井是集电、声、核、磁等学科于一体的综合性应用技术，大量借鉴和吸收现代电子、计算机、网络、新材料等相关领域的最新成果。正是由于测井技术的这些特点，导致了本书内容多，撰写专家多。编写人员的选择本着这样一个原则：相应项目的项目长和技术骨干参与撰写，或者由相关章节本行业知名专家或教授执笔。参加本书编写的人员如下：第一章：吴铭德；第二章：负责人毛志强，作者有柯式镇、曾花秀、乔文孝、李长文、陶果、肖立志、谢然红；第三章：负责人冯启宁，作者有朱涵斌、包德洲、朱军、曾花秀、高杰、刘兴斌、吴锡令、王国平、强毓明、乔文孝、楚泽涵、李长文、岳爱忠、鲁保平；第四章：负责人鞠晓东，作者有陈文辉、王炜、汤天知、肖宏、包德洲、王国平、强毓明、曾花秀、

岳爱忠、鲁保平、朱世和、张树东、陈锋、王金钟、刘卫；第五章：负责人王敬农，作者有仵杰、乔文孝、岳爱忠、肖立志；第六章：负责人孙宝佃，作者有杜环虹、周灿灿、司马立强、令狐松、樊玉秀、荆万学、王宏建、郭海敏；第七章：负责人李国欣，作者有刘国强、孙中春、孙宏智、石玉江、王兆年、肖承文、王国庆、李潮流；第八章：负责人李宁，作者有李宁、李长文；第九章：刘凤惠。各章负责人对相应章的技术进行把关。统稿后，由王敬农、鞠晓东、吴铭德、冯启宁、陆大卫对全书从不同侧面进行细审和修定。最后，召集了由分册编委会全体成员、章节负责人和主要作者参加的定稿会，进行终审和定稿。在此，对这些作者和审稿人所付出的辛勤劳动表示衷心的感谢，同时对为本书的编写提供资料，但因为篇幅所限而未录入的专家表示诚挚的谢意。我们还要特别感谢石油工业出版社的周家尧副总编辑等为本书的编写和编排提供了详细的指导和咨询。

尽管我们的目标是将本书出版成“精品”，但因水平所限，书中一定还存在着这样或那样的不足，敬请广大读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 测井装备	(1)
第二节 测井资料处理与解释	(6)
第三节 测井应用基础研究	(8)
第四节 射孔技术	(10)
第二章 岩石物理实验研究	(12)
第一节 岩石电学性质实验	(12)
第二节 岩石声学性质实验	(32)
第三节 岩石核磁共振性质实验	(39)
第四节 岩石物理数值模拟	(48)
第三章 测井新方法	(52)
第一节 电测井新方法	(52)
第二节 声测井新方法	(84)
第三节 核测井新方法	(104)
第四章 测井装备与工艺	(113)
第一节 成套测井装备 EILog-05	(113)
第二节 成像测井仪器	(133)
第三节 其他仪器	(155)
第四节 欠平衡测井工艺	(169)
第五节 射孔器材与工艺	(171)
第五章 测井数据处理	(184)
第一节 阵列感应测井数据处理	(184)
第二节 声波测井波形数据处理	(191)
第三节 核测井数据处理	(196)
第四节 核磁共振测井数据处理	(203)
第六章 测井资料解释与评价	(216)
第一节 复杂油气藏(层)测井识别与评价	(216)
第二节 天然气层测井识别与解释	(233)
第三节 剩余油测井评价	(242)
第四节 产出剖面动态评价	(251)
第七章 油气藏测井新技术评价应用实例	(261)
第一节 低孔低渗油气藏测井评价实例	(261)
第二节 低阻油气藏测井评价实例	(270)

第三节	复杂储集空间油气藏测井评价实例	(274)
第四节	复杂岩性油气藏测井评价实例——元素俘获能谱测井技术应用	(289)
第五节	剩余油油气藏测井评价实例——过套管电阻率测井技术应用	(292)
第八章	测井应用软件	(298)
第一节	Cif2000 多井解释软件平台	(298)
第二节	LEAD 测井综合应用平台	(308)
第九章	展望与建议	(323)
参考文献		(327)
附录	大事记	(331)

Contents

1	General Introduction	(1)
1.1	Well logging system	(1)
1.2	Log data processing and interpretation	(6)
1.3	Log application	(8)
1.4	Perforation	(10)
2	Petrophysics	(12)
2.1	Experiment of rock electric property	(12)
2.2	Experiment of rock acoustic property	(32)
2.3	Experiment of rock nuclear magnetic resonance property	(39)
2.4	Numerical modeling	(48)
3	New Logging Methods	(52)
3.1	New electric logging methods	(52)
3.2	New acoustic logging methods	(84)
3.3	Nuclear logging methods	(104)
4	Logging Tool and Technology	(113)
4.1	EILog-05 logging system	(113)
4.2	Imaging logging tools	(133)
4.3	Other logging tools	(155)
4.4	Underbalance well logging technology	(169)
4.5	Perforation tool and technology	(171)
5	Log Data Processing	(184)
5.1	Array induction log data processing	(184)
5.2	Acoustic logging waveform processing	(191)
5.3	Nuclear log data processing	(196)
5.4	Nuclear magnetic resonance log data processing	(203)
6	Log Data Interpretation and Evaluation	(216)
6.1	Complex reservoir log identification and evaluation	(216)
6.2	Natural gas reservoir log identification and interpretation	(233)
6.3	Residual oil log evaluation	(242)
6.4	Performance evaluation of output profile	(251)
7	Case Study of New Logging Technology Application	(261)
7.1	Log evaluation cases of low porosity and low permeability reservoir	(261)
7.2	Log evaluation cases of low resistivity hydrocarbon reservoir	(270)

7.3 Log evaluation cases of complex pore reservoir (274)

7.4 Log evaluation cases of complex lithology eeservoir (289)

7.5 Log evaluation cases of residual oil eeservoir (292)

8 Log Application Software (298)

8.1 Cif2000 multiple well log interpretation platform (298)

8.2 LEAD comprehensive log application platform (308)

9 Outlook and Suggestion (323)

References (327)

Appendix Sequence of Events (331)

第一章 绪 论

测井技术的诞生和发展是与石油勘探、开发紧密联系在一起的。1927年9月5日, Conrad Schlumberger 和 Marcel Schlumberger 等人在法国 Pechlbrom 油田 488m 深的井中, 测出了世界上第一条测井曲线。曲线清楚地指示出盖层下面的厚层含油砂岩, 测井技术由此诞生。1939年12月20日, 翁文波先生首次在我国进行测井试验, 在四川巴一井(石油沟一号井)用点测方法得到了测井曲线。1948年9月, 在玉门老君庙油田, 翁文波先生率领赵仁寿、刘永年、王曰才用半自动测井技术在 I-25 井发现了油层, 从测井曲线上清楚地划分出 K、L 和 M 等几个重要的油层。

测井技术依据电、声、核、磁等各种物理原理, 将各种精密仪器下入井内, 采集丰富的信息, 经过计算机处理和资料解释, 对油气层进行评价, 并深入地了解油气藏的特性。测井是石油勘探、开发中必不可少的一项技术。测井技术的发展大致可分为模拟测井、数字测井、数控测井和成像测井四个阶段。目前处于成像测井阶段。

20 世纪 90 年代中期以来, 石油勘探开发中的经济因素一直是推动测井技术进步的重要动力之一。为了以较低的成本取得良好的勘探开发效果, 要求测井能提高划分油气层和对储层进行评价的能力; 为了科学地进行油田开发和提高采收率, 要求测井能更好地进行储层动态监测。国际上在测井装备方面的发展重点主要在成像测井、随钻测井、油藏动态监测等三个方面; 在测井资料评价方面的发展重点主要在各向异性分析、套管井地层评价两个方面。我国在成像测井和高精度测井仪器研制方面取得了积极进展; 在测井资料解释方面, 我国大量低孔低渗、非均质地层的存在和水淹层研究的需求, 推动着一些有特色的测井资料处理和解释技术的快速发展; 在测井前沿技术和应用基础研究方面, 也有一些突出的成果。

第一节 测井装备

一、国外测井装备发展状况

1. 电缆测井系统和各种裸眼井测井仪器

(1) 成像测井仪器

成像测井是为适应裂缝性储层、薄互层、各向异性等复杂油气藏的勘探开发而发展起来的一项技术。20 世纪 90 年代形成了成像测井系列。近年来又不断开发一些新的成像测井仪器, 其中较为突出的有三分量阵列感应测井仪、油基钻井液微电阻率成像测井仪、核磁共振成像测井仪。

1) 三分量阵列感应测井仪。2000 年, 贝克阿特拉斯公司推出三分量阵列感应测井仪——三维探路者 3DEX, 使用三个互相垂直的发射和接收线圈阵列。将仪器读数进行反演, 可以计算出地层中的垂向电阻率和水平电阻率。三维感应测井对研究砂泥岩薄互层的电阻