



中国石油天然气集团公司统编培训教材

勘探开发业务分册

测井监督

(上册)

《测井监督》编委会 编



石油工业出版社

中国石油天然气集团公司统编培训教材

勘探开发业务分册

测井监督

(上册)

《测井监督》编委会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是一本测井监督培训教材,涵盖了测井技术、测井工艺设计、现场施工作业与监督和相关专业知识等内容,共分十章,主要包括:测井技术发展及测井监督要求、裸眼井测井技术、套管井测井技术、测井工艺和井下信息传输、测井优化设计、测井现场施工与过程监督控制、测井资料处理解释、质量、安全、健康与环境管理、测井现场常见问题分析与处理和相关专业基础知识。

该书全面、系统、实用,可供测井监督、科研生产技术人员和有关院校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

测井监督/《测井监督》编委会编.

北京:石油工业出版社,2011.7

(中国石油天然气集团公司统编培训教材)

ISBN 978-7-5021-8078-2

I. 测…

II. 中…

III. 油气测井-监督管理-技术培训-教材

IV. TE151

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 201757 号

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.com.cn

编辑部: (010) 64523543 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2011 年 7 月第 1 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

787×960 毫米 开本: 1/16 印张: 60.5

字数: 1080 千字

定价(上、下册): 280.00 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

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》 编 审 委 员 会

主任委员：李万余

副主任委员：金 华 白泽生

委 员：王志刚 连建家 胡宝顺 马晓峰

卢丽平 杨大新 吴苏江 杨 果

方朝亮 王同良 刘江宁 卢 宏

周国芳 雷 平 马新华 戴 鑑

上官建新 陈健峰 秦文贵 杨时榜

何 京 张 镇

秘 书：张玉文 王子云

《测井监督》编委会

主 任：赵政璋

副主任：赵文智 吴 奇 杜金虎 张国珍

王元基 马新华 吴国干 胡炳军

何江川

委 员：赵邦六 李松泉 郑新权 廖广志

何海清 穆 剑 刘墨山 范文科

李 铮 曾少华 王永祥 刘德来

王喜双 尚尔杰 任 东 胡海燕

张守良 汤 林 于博生 李国欣

赵 刚 苏春梅 何 刚 雷怀玉

吴晓敬 段 红 陈 莉

《测井监督》编审人员

主 编：吴 奇

执行主编：李国欣

副 主 编：王胜启 刘国强 高振果

编写成员：赵培华 柴细元 刘兴斌 马建海 高卫国 周灿灿
曹嘉猷 严建奇 邵维志 孙中春 黄辉雄 宋晓辉
范宜仁 王兆年 刘军平 李 婧 王晓荣 郑希科
吕秀梅 陈新林 赵 杰 李安宗 罗兴平 邓 荣
张大伟 安纪星 宁向东 张丽丽 李长喜 陈晓琼
丁娱娇 郭清滨 孙宏智 侯雨庭 王昌学 代大经
高 敏 孙林平 金 山 杨景海 朴玉琴 王淑萍
王艳秋 陈庆新 刘继生 周 林 蔡 兵 庄海军
穆乃彬 邢卫国 刘法宪 许 波 李 辉 张庆斌
王纪祥 姜汉桥 姚忠东 汪海阁 范学君 刘晓光
耿站立 袁昌林 李淑白 吴 虹

审定人员：李国欣 刘国强 周灿灿 柴细元 张大伟 刘兴斌
高卫国 孙宏智 郭清滨 马建海 严建奇 孙中春
赵 杰 侯雨庭 宋晓辉 陈瑞华 黄辉雄 刘军平
高振果 王胜启 高志强

序

企业发展靠人才，人才发展靠培训。当前，集团公司正处在加快转变增长方式，调整产业结构，全面建设综合性国际能源公司的关键时期。做好“发展”、“转变”、“和谐”三件大事，更深更广参与全球竞争，实现全面协调可持续，特别是海外油气作业产量“半壁江山”的目标，人才是根本。培训工作作为影响集团公司人才发展水平和实力的重要因素，肩负着艰巨而繁重的战略任务和历史使命，面临着前所未有的发展机遇。健全和完善员工培训教材体系，是加强培训基础建设，推进培训战略性和国际化转型升级的重要举措，是提升公司人力资源开发整体能力的一项重要基础工作。

集团公司始终高度重视培训教材开发等人力资源开发基础建设工作，明确提出要“由专家制定大纲、按大纲选编教材、按教材开展培训”的目标和要求。2009年以来，由人事部牵头，各部门和专业分公司参与，在分析优化公司现有部分专业培训教材、职业资格培训教材和培训课件的基础上，经反复研究论证，形成了比较系统、科学的教材编审目录、方案和编写计划，全面启动了《中国石油天然气集团公司统编培训教材》（以下简称“统编培训教材”）的开发和编审工作。“统编培训教材”以国内外知名专家学者、集团公司两级专家、现场管理技术骨干等力量为主体，充分发挥地区公司、研究院所、培训机构的作用，瞄准世界前沿及集团公司技术发展的最新进展，突出现场应用和实际操作，精心组织编写，由集团公司“统编培训教材”编审委员会审定，集团公司统一出版和发行。

根据集团公司员工队伍专业构成及业务布局，“统编培训教材”按“综合管理类、专业技术类、操作技能类、国际业务类”四类组织编写。综合管理类侧重中高级综合管理岗位员工的培训，具有石油石化管理特色的教材，以自编方式为主，行业适用或社会通用教材，可从社会选购，作为指定培训教材；专业技术类侧重中高级专业技术岗位员工的培训，是教材编审的主体，

按照《专业培训教材开发目录及编审规划》逐套编审，循序推进，计划编审300余门；操作技能类以国家制定的操作工种技能鉴定培训教材为基础，侧重主体专业（主要工种）骨干岗位的培训；国际业务类侧重海外项目中外员工的培训。

“统编培训教材”具有以下特点：

一是前瞻性。教材充分吸收各业务领域当前及今后一个时期世界前沿理论、先进技术和领先标准，以及集团公司技术发展的最新进展，并将其转化为员工培训的知识和技能要求，具有较强的前瞻性。

二是系统性。教材由“统编培训教材”编审委员会统一编制开发规划，统一确定专业目录，统一组织编写与审定，避免内容交叉重叠，具有较强的系统性、规范性和科学性。

三是实用性。教材内容侧重现场应用和实际操作，既有应用理论，又有实际案例和操作规程要求，具有较高的实用价值。

四是权威性。由集团公司总部组织各个领域的技术和管理权威，集中编写教材，体现了教材的权威性。

五是专业性。不仅教材的组织按照业务领域，根据专业目录进行开发，且教材的内容更加注重专业特色，强调各业务领域自身发展的特色技术、特色经验和做法，也是对公司各业务领域知识和经验的一次集中梳理，符合知识管理的要求和方向。

经过多方共同努力，集团公司首批39门“统编培训教材”已按计划编审出版，与各企事业单位和广大员工见面了，将成为首批集团公司统一组织开发和编审的中高级管理、技术、技能骨干人员培训的基本教材。首批“统编培训教材”的出版发行，对于完善建立起与综合性国际能源公司形象和任务相适应的系列培训教材，推进集团公司培训的标准化、国际化建设，具有划时代意义。希望各企事业单位和广大石油员工用好、用活本套教材，为持续推进人才培训工程，激发员工创新活力和创造智慧，加快建设综合性国际能源公司发挥更大作用。

《中国石油天然气集团公司统编培训教材》

编审委员会

2011年4月18日

前言

测井是油气勘探开发过程中的重要环节，测井监督是勘探与生产工程监督的一路主要力量。作为油公司派驻现场的甲方代表，测井监督在测井原始资料采集质量把关、安全施工和进度控制等方面肩负重要职责，因此对其专业知识基础、技术应用能力、工作经验和组织管理协调能力都有很高的要求。测井监督是油公司需要的复合型人才，但目前国内测井监督人员匮乏、力量弱、技术素质和综合管理能力急需提高，远远不能满足勘探开发生产的需要。

为了满足油气勘探开发需要，全面提高测井监督专业知识、技术和管理能力，提升中国石油测井监督工作水平，确保测井工程高质量安全施工。中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司安排勘探与生产工程监督中心组织有关专家、教授和工程技术监督人员编写《测井监督》培训教材。

本教材编写的起始素材部分来源于由冀东油田测井专家高卫国同志牵头组织的测井技术培训单行本讲义。在编写过程中，按照全面、实用、超前和起点适宜的原则，简化基础理论、充实现场应用、拓宽专业领域、突出施工作业过程监督等内容。为了体现特色，把该教材编成精品，书中许多内容由多人平行编写，合并取优。《测井监督》培训教材成稿后又经过监督培训班试用，广泛听取反馈意见，期间又多次召开讨论会，组织专家对其内容删减、补充、完善和审定。

本书主要包括测井技术、测井工艺设计、现场施工作业与监督和相关专业知识五部分共十章，内容与编排以测井技术为基础，以现场监督工作为主线。本书全面、系统、实用，深入浅出、通俗易懂，凝聚了众多专家和测井工程监督与技术人员的心血、才智与经验，具有较高的参考价值，是中国石油技术培训与监督管理工作系列书籍之一。期望该书的出版能够对中国石油测井技术与监督工作发挥有力的促进作用。

参与全书编写审核的人员如下：第1章，赵培华、李国欣；第2章，柴

细元、邵维志、范宜仁、王兆年、孙中春、赵杰、丁娱娇；第3章，刘兴斌、李婧、王晓荣、郑希科、黄辉雄、吕秀梅、金山、杨景海、朴玉琴、王淑萍、王艳秋、侯雨庭、陈庆新、刘继生；第4章，高卫国、陈新林、赵杰、李安宗、马建海、郭清滨；第5章，罗兴平、邓荣、孙中春、刘兴斌、周林、蔡兵；第6章，马建海、高卫国、张大伟、穆乃彬、邢卫国、李辉、许波、张庆斌；第7章，周灿灿、曹嘉猷、陈晓琼、安纪星、宁向东、张丽丽、王昌学、李长喜、孙宏智、王兆年、孙林平、邓荣、庄海军、代大经、高敏、柴细元；第8章，马建海；第9章，宋晓辉、严建奇；第10章，王纪祥、姜汉桥、耿站立、汪海阁、姚忠东、范学君、刘晓光。

本书在编写过程中，始终得到了中国石油天然气股份有限公司勘探与生产分公司主管领导的关心与指导，得到了勘探与生产工程监督中心、大庆油田、大港油田、冀东油田、华北油田、青海油田、长庆油田、新疆油田、塔里木油田和中国石油大学（华东）等单位的大力支持。前后共有六十多人参与编写和审核工作，全书最后由李国欣、高志强等总审定，高振果、袁昌林、李淑白、吴虹等负责具体组织、校核和编排。对各有关单位、领导和专家给予的大力帮助，在此表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中难免会出现不足与错误，希望读者给予批评指正。

《测井监督》编委会

目 录

上 册

第一章 绪论	(1)
第一节 测井技术及其在油气勘探开发中的作用	(1)
第二节 测井技术需求	(2)
第三节 测井技术发展方向	(3)
第四节 测井监督职责与素质要求	(5)
第二章 裸眼井测井技术	(8)
第一节 电法测井	(8)
第二节 声波测井	(85)
第三节 核测井技术	(136)
第四节 模块式电缆地层测试及井壁取心	(222)
第三章 套管井测井技术	(254)
第一节 注入剖面测井	(254)
第二节 产出剖面测井	(284)
第三节 地层参数测井	(315)
第四节 井间监测	(351)
第五节 套管井工程测井	(378)
第四章 测井工艺和信息传输	(404)
第一节 电缆输送测井	(404)
第二节 钻杆输送测井工艺	(423)
第三节 欠平衡测井工艺	(439)
第四节 测井井下信息传输与记录	(448)



下 册

第五章 测井设计	(475)
第一节 基本原则和内容	(475)
第二节 裸眼井测井优化设计	(478)
第三节 套管井测井优化设计	(497)
第六章 测井现场施工与过程监督控制	(507)
第一节 测井现场过程监督	(507)
第二节 测井施工条件	(514)
第三节 测井施工准备	(519)
第四节 测井施工流程和质量控制	(522)
第五节 现场资料验收	(537)
第六节 井壁取心	(598)
第七章 测井资料处理解释	(601)
第一节 测井资料数字处理基本方法	(601)
第二节 砂泥岩地层测井解释方法	(606)
第三节 裂缝性储层测井识别与评价	(642)
第四节 生产测井解释方法	(668)
第五节 测井资料地质和工程应用	(695)
第八章 质量、安全、健康与环境管理 (QHSE)	(726)
第一节 测井 QHSE 管理体系	(726)
第二节 测井工程 QHSE 管理体系主要内容	(727)
第三节 测井工程 QHSE 应急管理及预案	(733)
第四节 测井 QHSE 作业指导书及现场检查表	(738)
第九章 测井现场常见问题分析与处理	(744)
第一节 测井常见事故分类	(744)
第二节 测井常见工程事故预防措施与处理方法	(752)
第三节 测井施工事故案例分析	(765)
第十章 相关专业基础知识	(777)
第一节 地质基础知识	(777)

第二节	油层物理基础知识	(810)
第三节	钻井工程技术简介	(841)
第四节	录井工程技术简介	(870)
第五节	试油技术简介	(894)
第六节	合同管理基础知识	(919)
附录 1	常见岩石、矿物和流体参数表	(928)
附录 2	测井常用单位与符号表	(929)
附录 3	部分裸眼井测井项目测量单位	(930)
附录 4	部分套管井测井项目测量单位	(932)
附录 5	测井常用标准目录	(933)
参考文献		(936)

第一章 绪 论

第一节 测井技术及其在油气勘探开发中的作用

测井是一门应用学科,通过在井眼中激发/接收声、电、核、磁、重力、温度和光等地球物理场的响应,并对测量结果进行分析,从而定量判别岩石及流体的特性。测井是油气勘探开发的“眼睛”,它贯穿于油气藏勘探—评价—开发—生产的整个生命周期。

测井技术具有信息量大、分辨率高、刻画地层特征能力强等特点,是准确发现油气层、精细描述油气藏、及时监测油气生产必不可少的手段。测井技术为油气储量参数计算、产能评估及开发方案制订与调整提供重要科学依据。测井技术是油气勘探开发的主体技术之一。

(1) 定性识别与定量评价油气层,为储量计算和开发方案制订提供依据。

油气层识别是测井的最基本作用,也是测井的看家本领。在岩心刻度基础上,测井资料广泛用于识别岩性,划分油气层有效厚度,计算孔隙度、含油饱和度、渗透率等储层参数,进而计算油气藏储量,为制订开发方案提供准确依据。

(2) 监测注采剖面,为井下措施实施提供依据。

注入产出剖面测井为地质分析提供了丰富的动态资料,可对油、水井动态异常进行诊断,确定油、水井生产状态,对开发区域进行系统监测,研究各开发层系动用状况和水淹状况,采取综合调整措施,同时还可以检查压裂、堵水、调剖、酸化和补孔各种措施效果。

(3) 监测油气藏剩余油(气)分布,为开发方案调整提供依据。

利用开发生产测井资料可以研究油层水淹状况、剩余油气饱和度及其分布,为开发方案调整提供准确依据,最大程度提高油气采收率。

(4) 为沉积微相划分和地质构造的确定等地质应用提供依据。

每一种测井信息都能或多或少地给出一些有关岩石矿物成分、岩石结构及沉积构造等方面的信息,利用测井地质特征可以进行岩性剖面确定和岩相特征

研究,研究岩相特征;通过地层对比,研究地层层序、岩性、岩相及地层厚度的变化,了解构造、断层、与不整合的接触关系;根据岩相的分析,研究区域生、储、盖条件,进而研究储层的纵、横向变化,查明油气层分布及其连通情况,为寻找有利含油气区与合理开发油气田提供依据。另外利用测井资料还可以识别粘土矿物种类、识别泥岩层系中富含干酪根的生油岩。

(5)工程测井信息为套损检测、固井质量评价、井眼稳定性设计、压裂参数设计等工程应用提供依据。

井下工程测井资料为油水井正常生产提供套管、水泥环技术状况的信息,指导射孔、修井等作业施工,延长油水井使用寿命,提高油田开发的效益。油田开发进入中、后期,由于各种增油、增注措施,使井与井、层与层之间压力不平衡,加剧了地质构造活动、泥岩膨胀、电化学腐蚀等作用,使油、水井状况变得越来越复杂,套管损坏情况也逐年增加,通过工程测井,有利于认识预测油、水井井身状况变化,为采取措施提供依据。

第二节 测井技术需求

测井技术在过去几十年油气勘探开发中发挥了重要作用,为油气增储上产做出了重要贡献。随着油气勘探开发深入,难度越来越大,测井技术也面临新的挑战,目前测井技术需求主要有以下几方面。

(1)低孔低渗油气藏测井识别与评价技术。

近年来,在新增探明地质储量中,低孔低渗部分所占比例逐年增加。在低孔低渗储层,由于测井信噪比降低,测井对孔隙度和孔隙(包括裂缝)内流体特征分辨能力降低,测井解释难度增大,需要高精度采集技术与计算模型。

(2)低阻油气藏测井识别与评价技术。

电法测井一直是识别油气层的主要测井手段,但传统的高阻油层、低阻水层的概念受到挑战,近年来在渤海湾、松辽、准噶尔等盆地发现了大量的低阻油气层,在新增探明地质储量中占有相当比例。由于低阻成因多样,油层、水层的电阻率差别小,油水系统复杂,增加了测井解释难度。

(3)复杂油气藏测井识别与评价技术。

随着新发现火山岩、变质岩和碳酸盐岩等复杂岩性油气藏的增多,这类不同于常规砂岩的复杂油气藏的测井评价愈来愈受到重视,测井裂缝识别与评

价、特别是裂缝性油气藏流体定性识别和定量评价目前还不能满足实际需要。

(4) 高含水油气藏剩余油饱和度测井监测技术。

大部分油田进入高含水高采出程度阶段,剩余油高度分散,注入水性质变化大,油水层测井响应规律复杂,地层水电阻率难以求准,电法测井饱和度精度降低。碳氧比测井和中子寿命测井对剩余油饱和度变化分辨率低,且探测范围小,作业复杂,需要过套管电阻率测井等新型储层参数测井技术。

(5) 高精度注采剖面测井监测技术。

多管柱分层注水井分层注入剖面、三次采油注入剖面测井、高含水和低产液产出剖面测井,目前监测精度还比较低。随着地层压力降低,油气水三相流生产井愈来愈多,三相流产液剖面测井目前还没有可靠的监测手段。

(6) 复杂工程井测井技术。

随着水平井、大斜度井的增多,传统直井测井监测技术和解释方法已经不适应;另外,电潜泵井、螺杆泵井也日趋增多,测试通道受限,传统电缆测井受到挑战;此外,高温高压井、欠平衡钻井等条件下的测井采集技术需求也日益迫切。

(7) 地质评价与工程应用测井技术。

利用测井资料进行沉积微相分析和地应力评价尚处于简单定性阶段。利用测井资料进行套损检测、固井质量评价、井眼稳定性设计、压裂参数计算和效果评价等方面方法少且不够完善。

第三节 测井技术发展方向

测井技术自1927年问世以来,大致经历了四个发展阶段:模拟测井时代(1927—1964)、数字测井时代(1965—1972)、数控测井时代(1973—1990)、成像测井时代(1990年以后),目前正在进入第五个发展阶段,即三维扫描测井时代,测井技术解决复杂地质工程问题的能力愈来愈强。面对新的技术需求,目前测井技术发展具有以下特点:

(1) 随钻测井技术将日益成熟,地质导向和地层评价作用越来越大。

目前,斯伦贝谢、哈里伯顿和贝克休斯公司都开发出了基本成套的地层评价随钻测井仪器——电测井、核测井和声波测井仪器。在钻井过程中,随钻测井数据可以用于:早期探测高压层,将井眼精确地导向至目标地层,确定压力梯

度及流体界面,实时调整钻井液密度和有效循环密度以便有效地增加机械钻速,优化下套管位置,更加安全地钻入高压层段。随钻测井资料主要用于优化钻井作业和地层评价。随钻测井资料的应用使得钻井作业更加快速、安全和有效,减少了钻井时间和成本。

(2)套管井测井系列将日益完善,套管井测井评价地层能力不断增强。

目前除电成像和核磁共振等少数技术外,几乎所有裸眼井测井项目都可以在套管井中进行。斯伦贝谢公司正在推广其套管井测井技术(ABC),并取得了初步应用效果。

(3)地层测试技术应用将更加成熟,逐渐成为常规测井项目,此系列的完善,将大大降低裸眼井测井的作业风险。

地层测试技术被认为是过去十年里测井业界取得的最重要的一项储层评价成果。斯伦贝谢、哈里伯顿、贝克休斯等服务公司都拥有自己的商业化的地层测试仪器,在提高测试成功率上积累了很多经验。

(4)多分量阵列感应测井技术将成为各向异性储层评价的重要手段。

继贝克阿特拉斯公司推出多分量阵列感应测井仪器之后,斯伦贝谢公司也成功推出了三轴阵列感应测井仪,并进行了现场试验。现场实例证明,使用全三轴阵列仪对解释薄互层低电阻率产层具有重要意义,也拉开了第五代测井技术研发与投入使用的序幕。

(5)核磁共振测井正在向储层流体识别和定量描述方向发展。

核磁测井技术经过过去二十年发展逐渐成熟起来,已经成为评价地层物性的重要方法。在随钻测井与电缆测井两方面,近年来核磁测井仪器都在不断进步。主要方向是利用核磁共振测井技术开展储层流体识别和定量描述,主要方法是应用 T_1 和 T_2 谱数据结合其他测井资料综合分析。

(6)生产井井下实时监测技术将成为未来油气田开发动态监测主导技术。

随着电潜泵、水力泵等泵采井、超深井、高温高压井、低产井、特别是较为昂贵的海洋井的增多,传统的常规生产测井面临越来越多的技术挑战。雪佛莱德士古等公司利用井下永久监测方法进行产出剖面与注入剖面实时监测,取得了较好的应用效果。

近年来,井下永久监测技术受到了油公司和服务公司的高度重视。据预测,安装永久监测和控制设备的油藏采收率比常规油藏采收率高 20% 以上。三大服务公司纷纷收购井下永久监测的专业服务公司,以拓展其在油藏监测领域的服务范围,并开发出了永久监测地层温度、压力及产出液流量、密度和含水率的仪器。油公司也越来越多地利用该技术。