

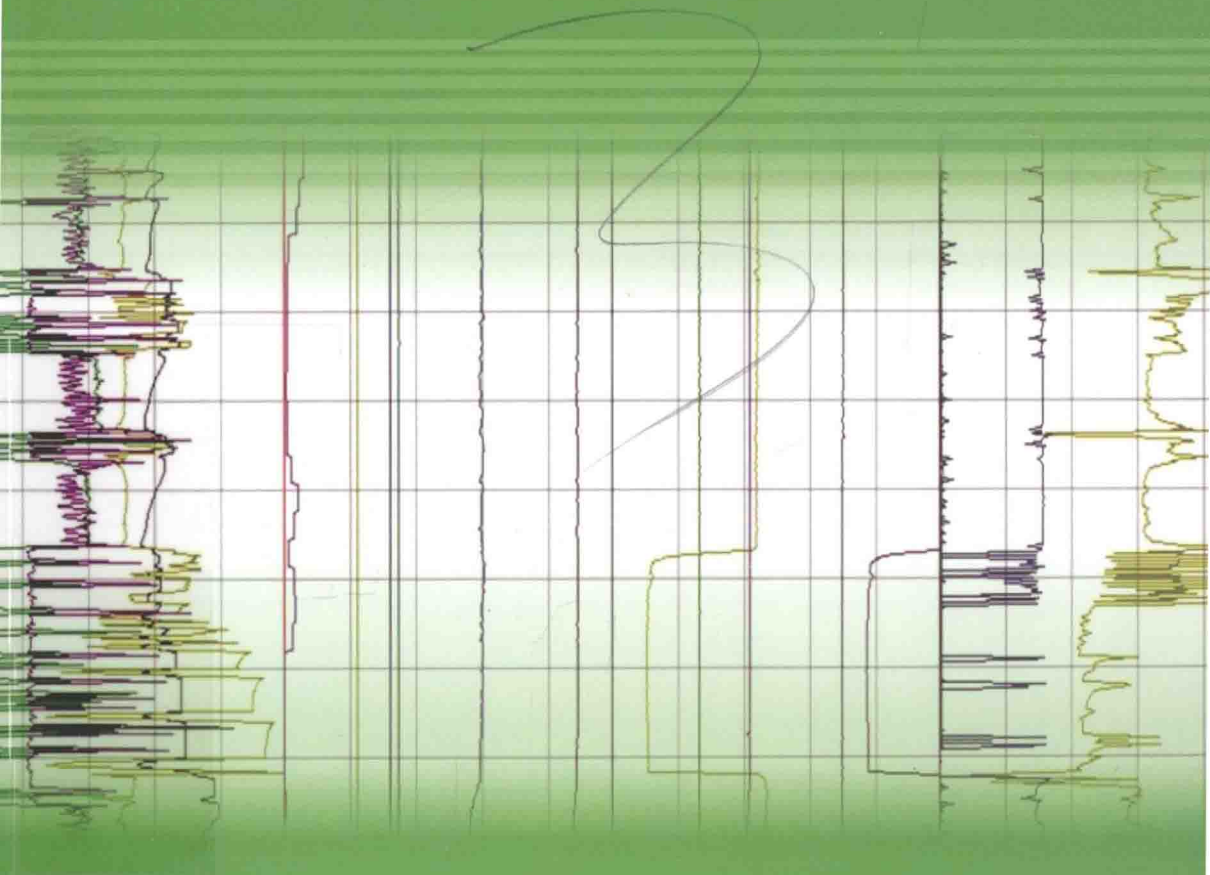


中国石油天然气集团公司统编培训教材

工程技术业务分册

工程录井技术

《工程录井技术》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

工程技术业务分册

工程录井技术

《工程录井技术》编委会 编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书详细阐述了地层压力监测与评价的作用和意义,描述了 dc 指数法与 Sigma 指数法的原理,剖析了影响钻井工程时效的各种因素。通过对典型事故案例的分析,理清了各项工程录井参数与钻井工况的关系。针对工程录井技术在事故复杂预报中的应用,系统介绍了工程录井在钻井过程中的实时监测与预报方法,以及工程辅助服务等。

本书为中国石油天然气集团公司统编培训教材,可作为现场从事工程录井作业人员的培训用书,也可作为石油行业相关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程录井技术 / 《工程录井技术》编委会编.
北京:石油工业出版社,2016.2
中国石油天然气集团公司统编培训教材
ISBN 978-7-5183-0648-0

I. 工…
II. 工…
III. 录井
IV. TE242.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 144768 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

编辑部:(010) 64523583 图书营销中心:(010) 64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷

710×1000 毫米 开本:1/16 印张:17.25

字数:300 千字

定价:60.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

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：刘志华

副主任委员：张卫国 金 华

委 员：刘 晖 胡永庆 翁兴波 王 跃
马晓峰 闫宝东 杨大新 吴苏江
赵金法 方朝亮 古学进 刘东徐
张书文 雷 平 郑新权 邢颖春
张 宏 侯创业 李国顺 杨时榜
张永泽 张 镇

《工程技术业务分册》 编审委员会

主任委员：杨庆理

副主任委员：李越强 秦文贵 赵业荣 夏显佰

委 员：李国顺 王悦军 孙玉玺 安 涛

刘应忠 张卫军 胡守林 王 鹏

秘 书：刘欣欣 邹 辉 李 季 贾平军

刘梅全 何昀宾

《工程录井技术》编委会

主 编：陈德山

副 主 编：王志鸿 王 斌

编 委：薛晓军 王 晨 蒲国强 王国瓦

姚志刚 袁金超 陈向辉 李 立

马玉明 王春雷 刘伟胜

审定人员：王志鸿 王 斌

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，为持续推进人才培养工程，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



工程录井是石油天然气钻探中的重要环节，是钻井过程中及时、有效发现和预报工程隐患，保障优质钻井的重要手段。

综合录井仪通过对置于钻机不同部位的传感器采集的信号进行实时监测、分析，确保钻井作业的全过程都处于监控之下，从而实现了钻井过程的连续监测和量化的分析判断，并逐步实现从后期的被动发现到先期的主动预报，现场监督和井队工程技术人员通过分析能够及时掌握井下和地面设备的状况，从而有效地保障钻井工作的安全。在对钻井工况进行监控的同时，还可使用各类辅助软件对所采集到的信息进行分析处理，为现场的工程技术人员提供各类相关的分析，从而起到了安全高效钻井的参谋作用。

为工程录井技术人员及时、准确地发现工程参数异常，正确评价异常类型并做出预报，确保安全、快速钻井，以及提高工程录井技术人员作业技术素质，培养高素质录井工程技术作业队伍，特编写此培训教材。

该教材以成熟的地层压力理论、钻井工程理论、工程录井基本理论和异常预报技术为基础，详细介绍了地层压力监测与评价的作用与意义，描述了dc指数法与Sigma指数法原理，同时针对影响钻井工程的因素进行了深入剖析，理清了各项工程录井参数与钻井工况的关系、工程参数异常的原因及异常判别标准。并对钻井过程中可能遇到的事故进行了分类。针对工程录井技术在事故复杂预报中的应用，通过典型异常、事故案例的分析，重点介绍了工程录井在钻井过程中随钻地层压力监测与评价、工程参数实时监测与异常预报的方法，以及工程辅助服务的相关内容。

为了确保教材的先进性、实用性和可操作性，编写过程中参照了最新颁布的中国石油天然气集团公司企业标准、国内行业标准和相关钻井技术手册，由具有丰富专业知识和现场工程录井服务经验的专家编写。同时，为使教材内容涵盖面更广、操作性更强，请国内工程录井专家进行了审核，并根据专家的意见进行了修改和补充。

该教材主要由王志鸿、薛晓军、王斌、王晨、蒲国强、王国瓦、姚志刚、

袁金超、马玉明、陈向辉等共同编写完成。其中，第一章主要由薛晓军、王斌、陈向辉、蒲国强、袁金超、李立编写，第二章主要由王斌、薛晓军、蒲国强、袁金超、姚志刚编写，第三章主要由王志鸿、王晨、王国瓦、姚志刚、马玉明、高志夫、朱兵编写，第四、第五章主要由王志鸿、薛晓军、王斌、王国瓦、姚志刚、袁金超、王春雷、刘伟胜编写，第六章主要由王国瓦、姚志刚、薛晓军、王志鸿、马玉明、刘伟胜、韩玉成编写，第七章主要由王志鸿、袁金超、王斌编写，第八章主要由王晨、王斌、陈向辉、李立编写。最后由王志鸿、王斌、袁金超负责全书的统稿和修改工作。

在教材编写过程中，得到了中国石油工程技术分公司地球物理处、西部钻探克拉玛依录井工程公司、西部钻探吐哈录井工程公司、中国石油塔里木油田分公司勘探事业部、川庆钻探地质勘探研究院的大力支持和帮助，在稿件修改过程中得到了中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院吕复苏副经理的悉心指导，在此一并表示感谢。同时，我们还要特别感谢以刘应忠为组长的专家评审组对教材所做的精心修改。

由于编者掌握技术资料和水平有限，文中难免有错误和不足之处，恳请读者批评指正。

《工程录井技术》编委会

2015 年 12 月

说 明

本培训教材可作为中国石油天然气集团公司所属各录井公司、钻井公司从事钻井工程参数监测、工程复杂原因分析、录井地层压力评价及录井工程辅助服务培训的专用教材。适合从事录井技术管理人员、现场综合录井服务的操作人员、技术人员，钻井现场技术人员及有关的管理人员，从事工程录井资料处理、解释与应用的研究及软件开发人员等的工程录井原理与应用的业务培训。为了便于正确使用此教材，在此对培训对象进行了划分，并规定了各类人员应该掌握或了解的主要内容。

培训对象主要划分为以下几类：

(1) 生产管理人员，主要包括：钻探公司及各级录井单位生产、技术管理人员；油田公司涉及录井生产、技术管理与监督人员。

(2) 专业技术人员，主要包括：工程录井技术研究人员，工程录井软件开发人员现场钻井地质监督，现场录井工程师、地质师。

(3) 现场操作人员，主要包括：录井操作员，钻井队技术管理干部、司钻、副司钻。

(4) 相关技术人员，主要包括钻探公司及钻井单位涉及钻井技术管理人员；油田公司涉及钻井生产的管理与监督人员；现场钻井工程监督；从事钻井技术研究、工程复杂处理的技术人员。

根据培训对象工作性质和技能要求的不同，在本教材中，上述培训对象应掌握和了解的章节如下：

(1) 生产管理人员，本书所涉及的内容均应了解、掌握。

(2) 专业技术人员，本书所涉及的内容均应了解、掌握。

(3) 现场操作人员，要求掌握第一章、第二章、第四章、第五章、第六章内容，了解第三章、第七章、第八章内容。

(4) 相关技术人员，要求掌握第二章、第三章、第四章、第五章、第六章内容，了解第一章、第七章、第八章内容。

现场监测过程中，操作人员对于参数单位一般选择国标及行标规定的标

准单位，并且默认使用者对相应标准都清楚明了，因此在监控图的配置时常将参数单位省去，造成部分案例截图中物理量无单位情况，但图中参数曲线变化特征明显，同时在案例描述中已详细地进行了描述，请读者在阅读、引用时引起注意。

各单位在教学中要密切联系生产实际，在以课堂教学为主的基础上，还应增加施工现场的实习、实践环节。建议根据教材内容，进一步收集和整理施工过程中的最新案例、照片以及视频，以进行辅助教学，从而提高教学效果。

目 录

第一章 概述	1
第一节 工程录井技术的作用及特点	1
第二节 工程录井技术在安全高效钻井中的优势	3
第三节 工程录井技术的发展	4
第二章 钻井事故、井下复杂分析与监测	7
第一节 引起钻井事故与井下复杂的主要原因	7
第二节 录井参数	14
第三节 工程录井服务系统	20
第三章 随钻地层压力监测与评价	32
第一节 异常地层孔隙压力特点与形成机理	32
第二节 dc 指数法检测地层孔隙压力	50
第三节 Σ 指数法检测地层孔隙压力	64
第四节 录井压力监测案例分析	68
第四章 工程因素导致的钻井事故和井下复杂特征分析与预报	89
第一节 钻井事故和井下复杂分类与监测、预报流程	90
第二节 循环系统类复杂与事故	93
第三节 钻头类复杂与事故	106
第四节 欠平衡钻井条件下的工程监测与预报	119
第五章 地层因素导致的钻井事故和井下复杂特征分析与预报	142
第一节 阻卡类复杂与事故	142
第二节 井漏类复杂与事故	159
第三节 井涌、井喷类复杂与事故	166
第四节 有毒有害气体类复杂与事故	175
第六章 录井技术在井控中的作用	192

第一节	钻前分析与准备·····	193
第二节	钻井施工过程中的安全监控与预报·····	204
第七章	工程辅助服务与评价·····	215
第一节	录井工程辅助服务的主要功能·····	215
第二节	钻井过程中水力参数实时监测·····	231
第三节	随钻水力学参数评价、优选·····	237
第四节	地层可钻性、钻头序列及机械破岩参数评价·····	243
第八章	工程录井技术应用展望·····	253
第一节	完善井下复杂预报事前分析、事中预报、事后总结机制·····	253
第二节	钻井施工过程监测与事故隐患预报的智能化·····	254
第三节	大力推广工程录井服务系统，为钻井施工提供信息支持 平台和应用工具·····	256
第四节	与钻井工程相结合，扩展录井资料应用范围·····	256
第五节	多专业融合，实现无风险钻井·····	259
参考文献	·····	261

第一章 概述

自 1981 年国内引进第一台综合录井仪以来,工程录井技术在石油勘探开发中的应用走过 30 余年历程,其不断完善的随钻工程复杂监控与预报功能,为钻井带来巨大的经济效益。现代工程录井技术更随着电子、信息技术的发展和钻井理论的进步而不断发展完善,能够为钻井工程提供层次更深、覆盖更广的技术信息和管理信息。进入 21 世纪后,现代计算机技术和网络信息传输技术在录井行业中广泛应用,信息采集精度越来越高,处理与传输速度也越来越快,并逐渐将综合录井仪变为了钻井现场信息中心,对井场信息具有快速识别与判断能力,为安全、高效钻井提供了更为完善的服务平台。

第一节 工程录井技术的作用及特点

钻井是实现油气发现、评价与开采最重要、最直接的手段,而在钻井施工过程中存在大量的模糊性、随机性和不确定性因素,诸如对深埋在地下的岩层认识不清(客观因素)、设备和技术存在缺陷(工程因素)以及作业者的判断和决策失误(人为因素),对这些因素认识不清、预防措施不到位常导致在钻井施工过程中随时可能发生井下复杂和钻井事故。因此,这些因素是威胁钻井安全的最大隐患,也是影响经济效益的重要因素,如何及时发现异常,保障钻井安全、提高钻井速度,便成为钻井行业关注的焦点。

现代工程录井技术正是为适应安全、高效钻井需要,在地质录井基础上发展起来的,以保障钻井安全、提高钻井速度为目标,集随钻地质信息采集与分析、地层流体检测、钻井工程参数监测、钻井液参数监测和地层压力监测为一体的综合性石油工程服务技术。它是综合录井技术的重要组成部分,主要通过各处传感器实时采集、监测与钻井工程相关的各项参数的变化,并

进行实时分析,从而使现场技术人员能够及时发现因井下异常而直接导致的相关工程录井参数的异常,实现现场工程异常及时预测与预报。钻井工程技术人员也能够通过录井人员提供的预报及相关工程参数分析及时做出判断,并果断采取相应措施,以避免钻井工程复杂的发生及进一步恶化,最大限度地减少复杂损失。同时,录井及钻井技术人员可借助录井平台的共享功能,利用日趋完善的工程辅助系统为优化钻井参数提供相关分析,并将实时信息和评价结果发送给钻井监督、地质监督、钻井平台和钻井工程师,最终达到保障钻井施工安全、降低钻井成本、提高勘探开发整体效益之目的。

相对于其他油气钻探服务技术,工程录井技术具有以下特点:

准确性: 探头具有较高的测量精度与稳定性,确保能准确地测量与记录参数的细微变化情况,为进一步分析提供了精准的原始资料。

客观性: 随着综合录井仪自动化程度的不断提高,不仅录井参数采集的精度和速度都有相应提高,而且工程录井服务一直遵循客观真实的原则,忠实、全面地记录了施工全过程,不受人为因素的影响,如同钻井的黑匣子,可以为钻井事故分析提供客观全面的数据。

实时性: 工程录井服务贯穿钻井施工全过程,通过对钻井施工过程的实时自动监测,将钻井施工中各参数变化以及设备的动态情况真实、实时地图文形式显示出来,使现场施工作业人员能够根据各项录井参数的变化,及时发现、分析异常,为快速解决问题提供参考依据。

综合性: 录井采集记录的参数涵盖钻探过程的方方面面,不仅能为油气发现与评价提供服务,而且还有大量与钻井工程有关的参数,可为及时发现与预报井下复杂提供准确依据,更可利用日趋完善的工程辅助系统,为优化钻井参数提供相关分析,为解决施工中诸如调整钻井液性能、套管下入等问题提供分析依据,最终达到保障钻井施工安全、降低钻井成本、提高勘探开发整体效益的目的。

延展性: 录井的作用不限于为一口井服务,多年的录井服务,积累了丰富的资料与数据,它所录取的资料可以作为同一地区其他井施工中重要的参考依据,特别是地层压力监测资料、井下复杂分析资料在邻井钻井施工中具有重要的指导意义,丰富的资料还可为区块提速、钻井设计等提供基础数据。

正是由于现代工程录井技术具有多用途、多功能的特点,逐渐为人们所重视,并日益成为油气勘探开发不可或缺的重要技术力量。

第二节 工程录井技术在安全高效钻井中的优势

钻井是一项复杂的系统工程,要保障安全、快速钻井,就需要钻井、钻井液、录井等作业方的密切合作。而工程录井正是为钻井施工提供参数采集、监测预报和优化钻井服务的一项综合性应用技术。狭义的工程录井主要是指与钻井工程有关的各项参数采集及对钻井工况的监测与预报。广义的工程录井不仅包括与钻井工程有关的各项参数采集及对钻井工况的监测与预报,还包括对相关数据的分析与评价,即工程、钻井液和地层压力录井。工程录井的应用基础是钻井工程,离开了钻井,工程录井就没有生存和发展的空间;钻井则需要工程录井提供发现隐患和事故预报及优化钻井方面的技术支持。工程录井需要从钻井和钻井液获得更多的信息,才能及时发现钻井过程中出现的问题和隐患,准确进行复杂和事故预报,减少和避免事故发生。这种依存关系使得工程录井在钻井监测预报方面具有其他任何技术都无法替代的优势,主要表现在以下几个方面:

(1) 可利用所掌握的区域地质资料,提前做好工程监测预报的技术方案,制订有效的施工对策,为钻井安全施工提供技术保障。

(2) 通过实时采集钻井、钻井液、油气水、岩性、地层压力等信息,借助监控软件分析各项参数变化,及时发现和预报钻井事故和井下复杂情况,减少或避免工程事故的发生。

(3) 长期为钻井服务,积累了丰富的工程录井资料、成功经验和失败教训,形成了一套有效的钻井事故和井下复杂分析评价方法以及工程辅助系统,对钻井施工措施的制订具有很好的指导和帮助作用。做好工程录井技术应用的关键,首先要加强现场实时监测,其次要及时发现和预报钻井事故隐患,再就是要做好钻井工程辅助工作。

随着钻井技术发展和新工艺的应用,钻井的自动化、智能化水平的明显提高,安全、高效钻井有了更强的技术保障。工程录井始终以“一切为降低钻井施工风险,提高钻井施工安全和效益”为宗旨,积极应对钻井和钻井液技术、工艺的发展,与钻井一起共同面对油气勘探开发中存在的技术问题,不断开展技术创新和推广应用,在安全、高效钻井方面发挥着重要作用。目前,利用录井资料,可以为钻井工程提供以下服务: