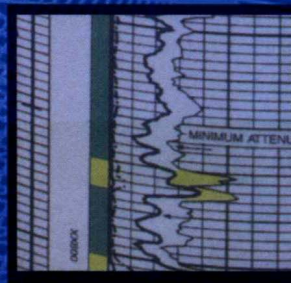
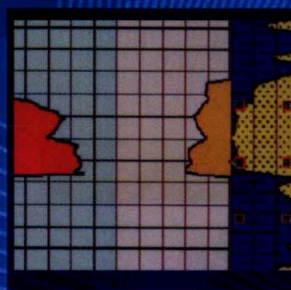
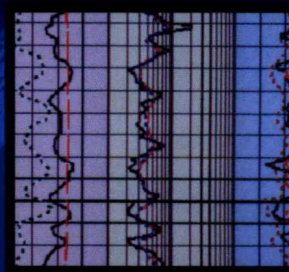


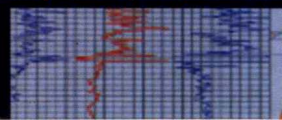
# 现代综合录井技术基础及应用

杨立平 杨进 编著

XIANDAI ZONGHE LUJING JISHU JICHU JI YINGYONG



石油工业出版社



# 现代综合录井技术 基础及应用

杨立平 杨 进 编著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书结合国内外近些年来综合录井技术发展现状,利用综合录井技术最新研究成果,根据大量的现场实践资料,详细介绍了现代综合录井技术的具体内容和分类、综合录井参数采集、录井资料整理、录井资料解释、录井资料应用以及录井传感器使用等关键技术问题。

本书可作为地质录井技术人员、钻井工程技术人员、现场钻井和地质监督进行地质录井、钻井工程设计和现场施工的参考用书,也可作为石油院校相关专业教学的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代综合录井技术基础及应用/杨立平,杨进编著.

北京:石油工业出版社,2008.4

ISBN 978-7-5021-6558-1

I. 现…

II. ①杨…②杨…

III. 录井

IV. TE242.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 050592 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](http://www.petropub.com.cn)

发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

排 版:北京时代澄宇科技有限公司

印 刷:石油工业出版社印刷厂

---

2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:8.5

字数:213 千字 印数:1—2000 册

---

定价:38.00 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

# 前 言

综合录井是石油勘探开发过程中一项必不可少的工作，综合录井技术是石油钻探技术的重要组成部分。现代综合录井技术是综合现代物理、化学、计算机和信息科学的先进技术，应用到石油地质、钻井工程、地球化学、传感技术、地球物理测井、信息处理与传输等领域而发展起来的，是集成多学科高科技成果为一体的综合技术。

综合录井技术经过了几十年的发展，在仪器设备研发、数据采集与处理、资料解释等方面取得了十分显著的成果。本书从综合录井资料获取、录井资料解释与应用、综合录井仪器设备等方面对近年来的新技术、新方法进行了详细介绍，系统地总结了综合录井技术的现场操作方法和资料处理分析过程。本书的出版对于石油勘探广大科研人员和油气勘探开发现场技术与管理人员了解和掌握综合录井新技术十分有益，对于从事录井技术与开发的科研人员 and 高等院校相关专业的师生具有重要的借鉴和指导作用。

本书在编写与出版过程中，得到了中国海洋石油总公司基地集团监督监理技术分公司、中国石油大学（北京）、大港油田录井公司、辽河油田录井公司、中原油田录井公司等单位的大力支持，在此表示感谢。

由于本书涉及内容较多，加之编者的水平有限，本书定有不妥之处，敬请读者批评指正。

# 目 录

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| 第一章 绪论 .....                  | (1)  |
| 第一节 综合录井技术在石油勘探开发中的地位 .....   | (1)  |
| 第二节 综合录井技术的现状 .....           | (2)  |
| 第三节 近年来中国录井技术的发展 .....        | (3)  |
| 第四节 中国录井技术发展方向 .....          | (4)  |
| 第五节 国外录井技术发展趋势 .....          | (6)  |
| 第二章 钻具管理 .....                | (7)  |
| 第一节 钻具基本概念 .....              | (7)  |
| 第二节 钻具管理要求 .....              | (7)  |
| 第三章 钻井液迟到时间确定 .....           | (9)  |
| 第一节 钻井液迟到时间计算与测量方法 .....      | (9)  |
| 第二节 钻井液迟到时间校正 .....           | (11) |
| 第四章 钻井参数录井技术 .....            | (13) |
| 第一节 综合录井工程地质参数 .....          | (13) |
| 第二节 影响综合录井参数的因素 .....         | (16) |
| 第三节 钻时录井要求与方法 .....           | (17) |
| 第四节 综合录井参数在不同作业期间应注意的问题 ..... | (19) |
| 第五章 岩屑录井技术 .....              | (25) |
| 第一节 岩屑收集与整理 .....             | (25) |
| 第二节 岩屑描述 .....                | (27) |
| 第三节 岩屑保存 .....                | (43) |
| 第四节 真假岩屑识别 .....              | (43) |
| 第五节 利用岩屑判断缝洞层的技术 .....        | (44) |
| 第六节 岩屑录井草图和实物剖面 .....         | (45) |
| 第七节 利用岩屑划分岩性和地层方法 .....       | (46) |
| 第六章 钻井取心录井技术 .....            | (50) |
| 第一节 钻井取心原则与方法 .....           | (50) |
| 第二节 岩心描述 .....                | (53) |
| 第七章 井壁取心录井技术 .....            | (66) |
| 第一节 井壁取心方法与要求 .....           | (66) |
| 第二节 井壁取心描述 .....              | (70) |
| 第三节 井壁取心整理及常见问题处理 .....       | (75) |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| <b>第八章 荧光录井技术</b> .....           | (77)  |
| 第一节 荧光录井作用及方法 .....               | (77)  |
| 第二节 荧光录井要求及内容 .....               | (77)  |
| <b>第九章 录井气体比率解释法</b> .....        | (80)  |
| 第一节 气体比率法简介 .....                 | (80)  |
| 第二节 气体比率法特点及应用 .....              | (81)  |
| <b>第十章 钻遇特殊地层时综合录井监测与判断</b> ..... | (87)  |
| 第一节 综合录井对特殊地层判断的意义 .....          | (87)  |
| 第二节 钻遇特殊地层时综合录井参数特征 .....         | (87)  |
| <b>第十一章 气测录井技术</b> .....          | (93)  |
| 第一节 气测录井的作用及要求 .....              | (93)  |
| 第二节 气测录井方法及设备 .....               | (93)  |
| 第三节 气测录井资料解释 .....                | (97)  |
| <b>第十二章 钻井液录井技术</b> .....         | (104) |
| 第一节 钻井液录井内容及要求 .....              | (104) |
| 第二节 钻井液种类及性能 .....                | (107) |
| <b>第十三章 地层压力随钻监测技术</b> .....      | (110) |
| 第一节 地层压力随钻监测原理 .....              | (110) |
| 第二节 地层压力监(检)测方法 .....             | (111) |
| <b>第十四章 综合录井仪器</b> .....          | (121) |
| 第一节 综合录井仪器设备 .....                | (121) |
| 第二节 综合录井仪设备安装要求 .....             | (125) |
| <b>参考文献</b> .....                 | (128) |

# 第一章 绪 论

## 第一节 综合录井技术在石油勘探开发中的地位

综合录井是一项石油勘探工作中的随钻技术,刚开始它是现场钻探作业者的耳目,逐渐上升为现场施工人员的有力助手,现在已成为地质和钻井技术人员必不可少的决策依据。综合录井技术作用和地位的提升,是油气勘探开发的实际需要和科技进步的结果。录井已从过去的手工操作、人工定性描述发展到应用多种装备、仪器,集数据采集、处理和解释为一体的石油勘探开发技术。现代综合录井技术是应用物理、化学、计算机和信息科学的先进技术和方法建立起来的,涉及石油地质、钻井工程、地球化学、传感技术、地球物理测井、计算机、信息处理与传输等领域,是融合多种学科及高科技为一体的综合学科。它在油气勘探开发中显示了越来越重要的作用和广阔的发展前景。

### 一、综合录井技术在油气勘探过程中的作用

综合录井的主要任务是在钻探过程中实时取全取准各项资料,为油气田的勘探和开发提供可靠的第一手资料。其主要作用:

- (1) 提供油气水(非烃)的识别、油气水综合解释与评价、综合地质研究、钻井地质设计书的设计和录井施工作业指导书的编写依据。
- (2) 钻井过程井下复杂情况预报与监测。
- (3) 井场实时数据采集与处理。
- (4) 提供现场作业过程中多种信息实时通信与交流平台。
- (5) 进行实时数据(视频)远程传输,钻井全过程实时远程监控(人机联动)。
- (6) 建立实时动态数据库和静态勘探数据库等。

### 二、录井技术分类及其作用

录井技术系列是针对不同的地质任务、勘探目标、地质条件、钻井施工工艺等因素建立起来的一整套技术措施的组合。按照录取资料的要求,一般分为探井录井技术系列和开发井录井技术系列。目前按作业过程有如下三大录井技术系列。

#### 1. 地质剖面录井系列

地质剖面录井系列主要包括岩屑录井、钻时录井、岩心录井(或岩心扫描技术)、井壁取心、碳酸盐含量分析、岩矿分析、古生物分析、核磁共振分析等。其主要作用是:

- (1) 建立准确的地质剖面,为勘探开发决策和地质研究提供基础资料。
- (2) 直接获取生储盖评价基础资料,为勘探方案的制定提供决策依据。
- (3) 进行沉积相分析,为编制开发方案和储量计算提供基础资料。
- (4) 精确地层分层,为准确标定地震剖面提供确切资料。
- (5) 获取的岩心、岩屑、井壁取心样品是最准确的,可直接识别油气层。
- (6) 利用古生物资料来确定地层的年代。

#### 2. 油气水识别综合录井系列

油气水识别综合录井系列主要包括实时连续烃类及非烃类气体录井、定量荧光分析录

井、岩石热解地化录井、罐装气轻烃分析录井、钻井液滤液水分析。其作用是：

(1) 利用色谱分析技术分析地层岩石破碎后在钻井液中分离出的烃类及非烃类气体成分( $C_1 \sim C_5$ 、 $CO_2$ 、 $CO$ 、 $H_2S$ 、 $O_2$ 、 $H_2$ 、 $He$ 、 $N_2$ 、 $Ar$ 、 $Rn$ )，综合解释与评价地层含有油气的情况。

(2) 利用地化和热蒸发烃色谱分析技术对岩样中残余的油气进行分析，经高温裂解，在不同温度区间所产生低分子烃类物质，得到原油轻、重组分含量和裂解烃峰顶温度，可得到地下原始状态下岩石中的含油量。结合储层的物性参数、有效厚度以及原油有关参数，计算出储层的含油饱和度，进而应用多参数储层评价模型判断储层含油特征，预测储层储量和产量，并应用原油轻、重组分比参数定性评价储层中的原油性质。

(3) 利用罐装气轻烃气相色谱分析技术，对从岩屑中逸散处的油气成分进行色谱分析，对其中轻烃( $C_1 \sim C_7$ )的单体成分逐一进行分离和检测，进而根据分析出的轻烃组成、丰度、相对含量进行油气层判别，推断油气层的活跃程度等。

(4) 利用定量荧光分析技术检测岩石样品中能发荧光的芳香族化合物，以检测出岩石样品中的原油浓度、原油性质、荧光强度高，尤其是对轻质油及凝析油油气藏的检测更有效。

(5) 利用核磁共振分析技术，实现快速、无损地获取岩石孔隙度、渗透率、可动流体百分数及孔径分布等重要的油层物理参数，来评价各类复杂的油气藏。

### 3. 钻井工程录井系列

钻井工程录井系列主要包括钻时录井、气体录井、钻井参数录井、钻井液录井、地层泥岩密度测量与地层压力监测与预报。其作用是：

(1) 钻井参数的录取，并对钻井参数进行实时分析处理。

(2) 及时预报井下地质与工程状况。并做到对钻井参数及水马力的优化。

(3) 对地层压力进行实时监测与异常预报。

### 三、录井数据远程传输及应用

综合录井仪将所采集到的地层岩性、钻时、气测数据、钻井数据、解释评价数据、测井数据以及地层测试数据和现场数据集成(WITS)进行实时远程传输，建立起的实时数据库可实现数据远程共享、随钻跟踪分析与综合解释评价，提高决策的时效及有效性。

(1) 传回的数据建立动静态勘探数据库为其他用户提供信息，建立现场信息交流管理平台。

(2) 其作用是对已获得的数据通过三维可视化系统由人机联作方式进行分析，及时进行随钻地质油藏决策，为现场钻井工程施工提供作业优化与决策指导。

## 第二节 综合录井技术的现状

我国录井技术在20世纪50年代初主要是依靠岩屑录井和岩心录井的手工方式录井，技术含量和录井技术水平低，1953年从国外引进了荧光录井技术。1955年由苏联引进了半自动气测仪，从此使烃类气体检测技术进入了录井工作中，从1958年钻井液性能检测技术也被采用到录井技术之中。随着石油勘探工作的不断发展，半自动气测仪逐渐不能满足石油勘探工作的需要，1964年研制出全自动气测仪，而全自动气测仪与半自动相比没有质的突破。经过近10年科技攻关，1974年研制出SQC701色谱气测仪，这个阶段是我国录井技术发展进入一个稳定时期。当时的英、法、美等国家一些公司为了争夺国际录井服务市场和录井仪器销售市场，则大力发展第一代面板式综合录井仪的研发工作。20世纪80年代初，英、

法、美等国又把计算机技术引入录井行业，并且推出第二代的脱机式综合录井仪及热解色谱气测仪。随着计算机技术和电子技术的高速发展，到了 20 世纪 80 年代中期又接着推出了第三代联机式综合录井仪。1989 年法国率先推出了第四代的无二次仪表的 Geo5000 型综合录井仪，1991 年美国推出了 SDL-9000 型综合录井仪，1993 年法国推出了 Geo5000 的改进型 Geo6000 型综合录井仪。近些年来，美、法等国一些公司又推出录井的新设备。世界上几个技术发达的国家为了适应国际石油勘探开发的需要和国际录井市场竞争的需要，每隔三五年就推出一种录井仪器新机型，每隔十年就使录井技术发展上一个新台阶。

从 1985 年开始，我国陆上油田大量引进综合录井仪，加之计算机和电子技术的高速发展和石油勘探开发的需要，促使我国较为落后的综合录井技术得到了快速发展。比如，上海石油仪器厂 1988 年研制出的 SDL-1 型地质综合仪和 SQC-882 色谱气测仪，1991 年航天部千山电子仪器厂仿制法国 TDC—综合录井仪推出 ZZL-1 综合录井仪，1991 年机电部新乡 22 所仿法国 Geo5000 型综合录井仪推出 SLZ-1 型综合录井仪，1991 年前后辽宁海城和山东鲁南分别推出地化录井仪，1992 年上海神开公司也仿法国 Geo5000 型综合录井仪推出了 SKZ-903 型综合录井仪。1995 年中国石油天然气总公司物探仪器总厂推出了 SK-II 型综合录井仪。

### 第三节 近年来中国录井技术的发展

随着石油勘探开发钻井技术的提高，勘探难度的加大以及对勘探作业地质录井要求的提高，在数据采集、油气层现场评价、仪器研制及引进等方面取得了很大的进步，由简单的定性发现油气显示，发展到自动采集、定量评价油气层的综合录井技术，并且在勘探作业中广泛应用。主要在以下几个方面取得发展。

#### 一、气测录井评价技术

气测录井直接检测钻井液中烃类物质的体积分数，与烃类物质的丰度有关。

(1) 由最初的人工读值发展到计算机自动采集数据。

(2) 由读取气测峰值发展到计算积分面积，使数据更精确。

(3) 快速色谱录井技术，使分析周期由过去的 4min 减至 30s，使气测录井对油气检测的分辨率提高了 8~10 倍。快速色谱录井技术为薄油气层的识别与评价提供了可靠准确的技术保障。

(4) 气测脱气器的改进，使脱气效率得到极大的提高，且不受钻井液性能的影响，为油气水层的现场初步定量评价提供了基础。

#### 二、定量荧光录井技术

定量荧光分析录井技术是 20 世纪 90 年代初由德士古石油公司率先开发的一项新型录井技术，90 年代末期，我国研制了 OFA 型定量荧光分析仪。这两种仪器采用的方法都是根据荧光强度与石油质量浓度成正比的关系，借助仪器来实现荧光数据的检测和分析。定量荧光录井技术在一定程度上解决了新钻井工艺下 PDC 钻头钻探带来的岩屑细碎、荧光难识别的问题，不至于漏掉油气水层，实现了荧光录井技术由定性向定量解释的跨越式发展。

(1) 分析样品简单快捷，每个样品需要 10~15min；

(2) 消除钻井液添加剂污染干扰，有利于辨别真假油气显示；

(3) 图谱直观反映原油性质；

(4) 有利于发现轻质油气显示。

### 三、油藏地球化学分析技术

常用的技术包括：岩石热解分析、热解气相色谱分析、轻烃分析等。在识别与评价低阻、低渗油气藏上，起重大作用。

#### 1. 定量评价储层

岩石热解分析技术是通过在特殊的热解炉中进行程序升温，使岩石中的烃类在不同温度下挥发和裂解，从而定量检测获得分析样品在不同温度范围内气态烃（ $S_0$ ）、液态烃（ $S_1$ ）和裂解烃（ $S_2$ ）的含量以及谱图。由此，可计算出所分析样品中烃类总量、原油密度等。当地层孔隙度已知时，还可计算出含油饱和度，可以定量地对储层进行评价。

#### 2. 详细描述原油的组分特征

热解气相色谱分析技术在对储层样品分析时，将储层样品送入恒温 300℃ 的热解炉中加热，使储层样品中所含有的烃类物质蒸发出来，由载气（高纯氮气）携带进入毛细管色谱柱实施分离，而后进入氢焰鉴定器进行定量检测，从而获得热解烃中  $C_9 \sim C_{37}$  正构烷烃组分的含量及油气组分的特征。

#### 3. 轻烃分析技术

轻烃分析技术是对气测录井和热解气相色谱分析技术的有效补充，以  $C_1 \sim C_9$  的轻烃为研究对象，对在原油中含量最高、组分最丰富、变化最大的  $C_5 \sim C_9$  的轻烃组分进行分离、定性和处理，弥补了以往气测录井常规色谱分析的不足，提高了录井资料的解释评价精度。另外，轻烃分析技术能够解决快速钻井条件下的、选样难的问题，除岩心、岩屑样品外，还能做混合样及钻井液全脱分析样，因此能够适应钻井新工艺的发展。

### 四、录井资料信息化管理技术

（1）由于计算机技术的发展，所有录井原始数据的收集与整理数字化，以及录井资料入库管理、录井数据远程实时传输，初步形成了从现场资料采集、传输、处理、评价到信息共享。

（2）岩心数字扫描成像技术为岩心资料的完整保存、资料编辑处理发挥着越来越重要的作用。

### 五、钻井工程参数录井

钻井工程录井是综合录井的重要一部分。参数的变化，实现了从后期被动发现到先期主动预报，为确保钻井安全、降低钻井成本提供了技术保障。近年来，随着 ALS-2、ALS-NT、Drillbyte、SK-2000FC、DLS 综合录井仪的引进，综合录井在工程监测、事故预报的能力方面得到进一步加强。

## 第四节 中国录井技术发展方向

录井设备和技术的发展与应用自 20 世纪 80 年代末期，在引进消化吸收国外先进技术的基础上，由开始的仿制直到今天开始研制开发具有自主知识产权的录井设备和技术。在规模上，目前已形成较大规模的研制能力；在应用方面，解决了在录井过程中的许多技术难题，已在勘探开发中起到了重要作用；在技术研发方面，逐步掌握了软硬件的关键技术，大大提高了设备的功能和技术指标，同时也摆脱了对国外技术的依赖，并形成了自己的技术优势，有的技术已超过了国外先进技术；在经济方面，已形成一定的规模，并已成为行业新的效益增长点；在市场方面，大大提高了技术服务能力和市场竞争力；在人员培养方面，通过技术研发培养了一批研发人员和技术骨干。

## 一、与国外录井技术的主要差距

### 1. 新技术推广方面

国外在多年前就已应用一些更先进的录井设备，例如快速色谱定量分析、钻具振动系统、井涌监测系统等技术，新技术已逐步走向成熟，LWD、FEWD 已更多地应用于勘探中，大幅度地提高了勘探效益，而国内尚有一定差距。

### 2. 技术研发方面

一是国外录井公司新技术研发能力大大地强于我们；二是我们的设备开发研制水平较低，主导技术不突出，核心技术上不去，具有独立知识产权的技术较少；三是先进设备的推广使用程度不高；四是新技术开发研究人才短缺。

### 3. 录井信息的应用方面

一是国外的油公司在现场以综合录井仪为核心建立了信息平台，使现场所有施工作业方的数据能进行交流和数据共享，为甲方提供及时和综合的解释评价成果；

二是现场的录井、定向井、测井、测试以及钻井施工现场的数据、图形和图像视频信息同步传回基地，经基地各方面的专家系统处理分析后，实施双向通信交流与决策。

### 4. 基础理论研究方面

国外录井公司针对录井过程中出现的技术难点、影响因素以及相关勘探技术的发展对录井造成的负面影响开展技术攻关，投入人力、财力等较大，具有较好的研发环境条件，原发性技术方法创新较为突出。对于其他领域的高新技术能很快引入到录井技术领域之中，很快地形成生产力。

### 5. 人才培养方面

国外公司在人才的培养方面都是根据企业的发展目标和技术难点培养人才，既解决了企业的技术难点问题，又解决了人才的培养，形成良性循环，而我们在这方面还有差距。

## 二、录井技术发展方向

目前钻井条件和地质条件对录井技术的影响日趋明显，研制具定量评价功能的录井设备和技术，已不可忽视。例如，在 PDC 钻头的应用对岩屑描述、欠平衡钻井过程中的录井、水平井的岩屑捞取中，研制具有定量评价油气显示功能，并能克服上述影响因素的设备和技术已成为迫切需要解决的问题。

录井信息的获取是由钻井液将地下的地质和工程信息携带到地表由录井设备进行采集与分析，但这些井下信息在上返到地表过程中，受地质条件、钻井条件的影响而失真。因此需要研制一种井下录井设备和技术，安装在钻头的附近直接获取油气的信息，并将信息传递到地表进行分析处理。

(1) 实现录井信息向量化发展，快速准确地对油气层进行定量评价是勘探工作者所梦寐以求的。目前录井信息的量化程度不高，有些重要的参数还需实验室分析，如储层的孔隙度、渗透率、含油饱和度等还无现场测量手段，因而影响了快速准确地对油气层进行定量评价工作的开展。因此，油气层的定量评价仍是录井工作面临的一大难题，应研制相应的设备和适用的技术方法。

(2) 大力发展录井实时远程监控系统。一是随着勘探难度的增加，现场需要多元技术的联合识别油气显示，综合解释评价油气层，需要专业人员及时支持现场施工作业，实施技术决策和技术指导等；二是随着信息化技术的不断发展，现场多元化技术的联合更需要数据交流、数据共享、实时动态数据库、智能专家系统、技术专家的支

持；三是探区的分散，地表交通条件较差，为及时解决现场的问题，因此需要发展录井实时远程监控系统。

(3) 以综合录井与测井仪为核心实现现场数据集成，实施录井过程中实时监控、利用多种技术及时准确地评价油气层已成为总的发展趋势。

(4) 在录井过程中，对于低孔隙度、低渗透率以及低阻油气藏，还需要发展录井技术以满足需求。

(5) 录井技术要适应于钻井技术的发展，钻井工艺的较大变化对录井提出了新的要求。例如，PDC 钻头的广泛使用、欠平衡钻进及高压喷射钻井技术的应用，都对录井技术的发展提出了新的要求。大力开展技术攻关，下决心解决影响录井技术发展的瓶颈问题，如录井信息的定量化问题，PDC 钻井条件下的岩屑描述、归位和油气显示识别问题，地下油气进入井筒后发生的物理和化学变化情况，不同油气层对各种通过钻井液检测得到的数据的影响，欠平衡钻井条件下的录井问题等。积极探索和研究光谱录井（如红外光谱气测、三维荧光光谱录井）、钻具振动频谱分析、随钻地震在录井过程中的应用，以提高录井行业的技术水平和服务能力。

(6) 加大人才培养的力度，针对不断发展的国外市场对复合型技术人才的需求，大力开展培训工作，包括语言培训、HSE 培训、涉外法律法规及合同知识培训、录井技术培训等。

## 第五节 国外录井技术发展趋势

计算机技术的应用推动了录井技术的发展，使录井技术实现了从手工作业向机械化、自动化的飞跃，使录井资料的应用实现了从简单分析向综合解释的飞跃，综合运用现场各种地质数据进行综合评价，工作效率大大提高。

(1) 录井分析定量化。量化的参数精度高、准确，原来未量化的录井项目或参数，通过新的方法和手段已能量化。录井技术发展很快，形成了实时采集、监测、处理、传输、评价服务及决策一体化的现场油气藏评价系统。

(2) 在常规综合录井基础上，新型的检测仪器和检测项目不断增加，为现场评价提供了新的方法。法国地质服务公司研制的自动连续检测进出口钻井液滤液矿化度分析仪，可以测量钻井液中钾、钠、钙和氯离子的含量，为判断井下地层流体性质提供了新的检测方法。斯伦贝谢公司研制的利用四个红外分光光度计检测气体组分的方法，将原来气体组分的色谱分析变为光谱分析，变原来的周期性分析检测为连续分析检测。

(3) 录井资料的采集向更及时、更真实的方向发展。

(4) 录井资料处理解释系统发展成为系统化、平台化、网络化数据库管理系统及软件平台。专家系统的出现，既是现场资料信息数据的监控采集系统，又是可供共享的数据管理系统，能使用多种技术信息进行综合地层评价，使录井解释达到一个新的水平。

(5) 现代化的综合录井使作业决策向现场化发展，综合录井技术用于监控钻井作业，进行钻井实时监控，为优选钻井参数极大地提高了钻井效率。综合录井通过现代化的计算机系统进行综合性数据采集、存储、处理，可为用户进行作业决策提供完备翔实的资料，该系统不仅用于钻井、测井、随钻测量、中途测试、完井等跨部门的井场作业分析，综合录井使作业决策趋于现场化。

## 第二章 钻具管理

### 第一节 钻具基本概念

#### 一、钻具的定义

钻具是指包括方钻杆（顶驱）、钻铤、连接接头、钻头及其他下井工具构成的管串或钻柱。其具体组成随不同钻井作业目的要求而不同，但主要是钻杆段和下部钻具组合两大部分。

钻杆段有普通钻杆或加重钻杆等，有时也加入扩径器。

下部钻具组合包括钻铤、稳定器、减震器、扩径器、变扣接头及其他特殊工具。

特殊钻具组合中还可能包括随钻监测仪器、测试工具、震击器及打捞器具等。

钻具是丈量井深的尺子。钻进过程中，井深的准确性取决于下井钻具长度的准确性。井深的准确性又是保证各项录井资料深度准确可靠的前提和先决条件。因此，钻具管理是综合录井技术中首要的一项关键性工作。录井中管理钻具的侧重点是其长度。录井现场录井人员应把钻具管理列为全井重点工作之一来抓，保证钻具丈量、计算和井深准确无误。

#### 二、钻柱的作用

(1) 钻柱是向井底输送钻井液的唯一通道。

(2) 钻柱是把井口机械动力（扭矩）传递给钻头并施加压力，促使钻头破碎井下地层岩石的唯一工具。

(3) 钻柱是起下钻、换钻头或其他井下设备的输送工具。

(4) 用于处理井下事故及复杂情况，打捞落物，挤水泥等特殊作业。

(5) 通过钻柱了解与判断钻头工作状况、井眼情况及地层情况等。

(6) 利用钻柱可对地层流体及压力情况进行测试评价。

### 第二节 钻具管理要求

#### 一、钻具管理责任

钻具管理责任是以钻井技术人员为中心，以工程数据为准，建立钻井与录井两对口；综合录井的钻具记录要确保与工程的数据对口一致。

#### 二、钻具丈量

(1) 凡待入井钻具由录井人员与钻井人员一起在现场用符合标准计量法的有足够长度的钢卷尺一次丈量，并要求执尺人互换尺头复量无误。以“m”为单位，精确到小数点后两位。

(2) 丈量准确无误后，立即用醒目油漆将其“长度”工整地写在钻杆或钻铤本体上。

(3) 由钻井人员将其“长度”及“钢号”填写入自己的钻具原始记录，并与实物查校无误。

(4) 由钻井技术人员配好立柱，编排入井序号（立柱号），用油漆将其序号写在钻杆或钻铤本体“长度”漆号之前，依次排放整齐。

(5) 钻井人员将配好的下井钻具按立柱号及入井顺序填写钻具卡片，并与原始记录核对无误，包括钻具型号规格、扣型壁厚、钢号长度等项目。

### 三、综合录井人员在钻具管理中的任务和责任

钻具管理是油气钻探工作中的重要内容，必须进行大量的、细致的、准确的、及时的工作才能保证不出差错。

(1) 钻具管理，除了录井值班人员必须掌握准确的钻具入井情况，同时钻井人员当班有专人负责，钻井、录井人员要时刻掌握全井钻具使用变化情况。录井队长对录取资料的深度负责。这对于深井及事故井尤为重要。因为深井及事故井钻具结构复杂，变化频繁，并有各种事故井下处理工具等。若无专人管理，很容易发生错误。

(2) 除有钻具丈量原始记录及钻具卡片外，还必须建立井下钻具计算记录和钻具变化记录。综合录井队同钻井队一定要时时对口。

(3) 下钻时，录井、钻井钻具接口对深（方入计算要准，实际画在方钻杆上的方入记录要准，起钻方入在方钻杆上实际丈量要准，目前一般不用了）。

(4) 起钻时应编写立柱序号，并依次排列在钻杆盒子上。下钻时要按所编序号依次下入，不得混乱。

(5) 倒换钻具时，换下来的钻具要全部丈量长度、查对钢号。替换钻具若是临时准备的，也应查清钢号、准确丈量。倒换钻具的长度、钢号、倒换位置和计算结果等均应详细记入专用钻具变化记录中，以备查考。

(6) 录井小班值班人员应详细填写钻具交接班记录。交班人应向接班人交代正打单根编号、小鼠洞中单根编号、大门坡道处单根编号（立柱的某一根）。接班人一一查对清楚时才可接班。

(7) 特殊作业钻具，应提前检查、丈量，早做准备。凡经历严重顿钻或强行上提解卡的钻具均应重新丈量计算以保证井深准确无误。

(8) 每次中途电测后，应选择明显标志层核对井深，读出分段岩性电差。若岩性电差超标准时，应立即查明原因，方可继续钻进。

# 第三章 钻井液迟到时间确定

## 第一节 钻井液迟到时间计算与测量方法

### 一、迟到时间的定义

在石油天然气钻井过程中，钻井液由钻井泵推动着，顺通道输送到井底后，携带着钻头破碎岩石所形成的岩屑及油气水，沿着井筒与钻具形成的环形空间从井底上返到井口取样处的时间“ $T_{\text{上}}$ ”称为迟到时间。单位以分钟（min）表示，精确度取0.5min。钻井过程中钻井液岩屑上返情况，如图3-1所示。

精确的钻具是保证井深无误的前提，迟到时间则是保证钻屑、油气水、钻井液及气测等多项录井资料深度准确性的前提。因此，在整个录井过程中，要及时采用理论计算法、实物测定法、特殊岩性测定法、反比法等准确测算符合实际的迟到时间。

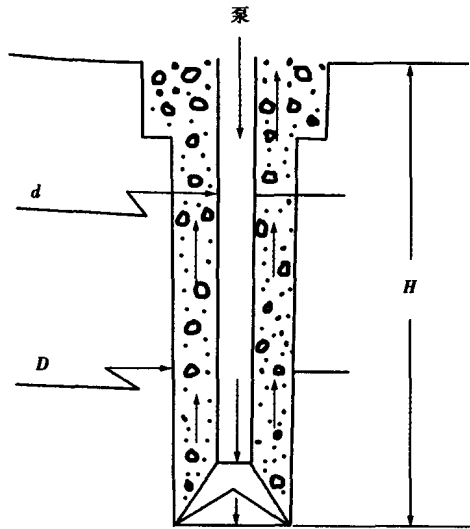


图3-1 钻井液岩屑上返示意图

### 二、理论计算法求迟到时间

#### (1) 计算公式：

$$T_{\text{上}} = \frac{V}{Q} = \frac{\pi(D^2 - d^2)H}{4Q}$$

式中  $V$ ——井筒环形空间容积， $\text{m}^3$ ；  
 $Q$ ——钻井液泵排量， $\text{m}^3/\text{min}$ ；  
 $D$ ——井眼直径， $\text{m}$ ；  
 $d$ ——钻具外径， $\text{m}$ ；  
 $H$ ——井深， $\text{m}$ 。

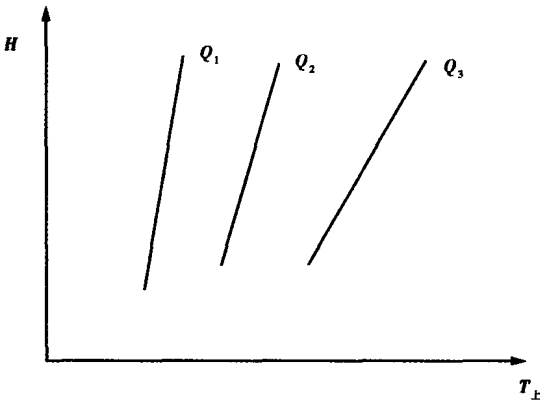


图3-2  $T_{\text{上}}$  和  $Q$ 、 $H$  的关系曲线

(2) 实际工作中，为了及时掌握理论迟到时间，利用上述公式的计算结果绘制成  $T_{\text{上}}-QH$  关系曲线（如图3-2所示），只要知道排量  $Q$  和井深  $H$ ，便可及时查出迟到时间  $T_{\text{上}}$ 。

(3) 由于实际井眼直径一般都大于钻头直径（只有容易发生缩径井段略小于钻头直

径)，而且极不规则，加之钻井液及岩屑等不可能沿环空作直线上升运动。所以理论计算迟到时间均小于实际迟到时间。因此理论计算求出的迟到时间一般只在 1000m 之内浅井非目的层快速钻进阶段采用。深井阶段只用于辅佐实测迟到时间。若实测值小于理论计算值，现场要求必须重新测定。

### 三、实测迟到时间

(1) 钻进过程接立柱时，将电石指示剂或玻璃纸投入钻杆内，记下开泵时间  $T_{\text{开}}$ ；记下仪器检测到乙炔气体返出或见到玻璃纸的时间  $T_{\text{见}}$ ，则可用下式求得迟到时间  $T_{\text{上实}}$ 。

$$\begin{aligned}T_{\text{循环}} &= T_{\text{见}} - T_{\text{开}} \\T_{\text{上实}} &= T_{\text{循环}} - T_0\end{aligned}$$

式中  $T_{\text{循环}}$ ——指示物循环一周的时间，即  $(T_{\text{见}} - T_{\text{开}})$ ，min；

$T_0$ ——指示物下行时间， $T_0 = (V_{\text{钻杆}} + V_{\text{钻铤}}) / Q$ ，min；

$V_{\text{钻杆}}$ ——钻杆内容积， $\text{m}^3$ ；

$V_{\text{钻铤}}$ ——钻铤内容积， $\text{m}^3$ ；

$Q$ ——钻井泵排量， $\text{m}^3/\text{min}$ 。

(2) 下钻前将小于钻头直径、且易于钻碎不造浆的指示剂投入井底，待下钻完后记下开钻时分。再注意观察捞样处，记下指示剂出现的时分。其二者之差就是迟到时间。

(3) 实测迟到时间最接近实际迟到时间，比较准确。大于 1000m 以上深井及目的层均要实测。一般情况下，1000 ~ 2500m 井段 100 ~ 150m 实测一次，2500 ~ 3500m 井段 50 ~ 100m 实测一次，3500m 以上超深井段 25 ~ 50m 实测一次。

(4) 实测迟到时间的准确性取决于稳定的工程条件，如开泵要一次成功，带泵柴油机油门不能忽大忽小，在保证安全的前提下，钻头应尽快送到井底。实验者观察要耐心细致，记录要准，清楚指示剂开始返出时间、大量返出时间、开始减少时间。代表油气上返的指示剂指示气测录井迟到时间。代表岩屑上返的指示剂指示岩屑录井迟到时间。

### 四、利用特殊岩性测定迟到时间

(1) 钻进中，从钻时明显慢的岩层突然进入钻时特别快的岩层，如煤或独具特色的疏松砂岩层等，应立即记下其钻遇时间，再记下捞样处出现该岩层之岩屑的时间，二者之差即岩屑迟到时间。

(2) 钻进中，若一般岩层间出现非常致密坚硬的岩层，如燧石层或具有特殊结构的燧石结核、铁质结核层等，必有钻时特慢或蹩、跳等现象，立即记录显示时分及其岩屑迟到捞样处的时间，二者之差即为岩屑迟到时间。

(3) 根据上述原理，通过各方面明显的气测异常变化也可以校正迟到时间的准确性。

(4) 通过能充分反应岩层可钻性的钻时及其对应岩屑的井深稳合性检查迟到时间的准确性。对应的岩屑提前，说明所使用的迟到时间偏长。反之，推后说明迟到时间过短。岩屑与其相对应的钻时井深稳合性好的，说明所使用的迟到时间准确。图 3-3 为现场利用大段泥岩中的荧光粉砂岩层校正迟到时间的实例。

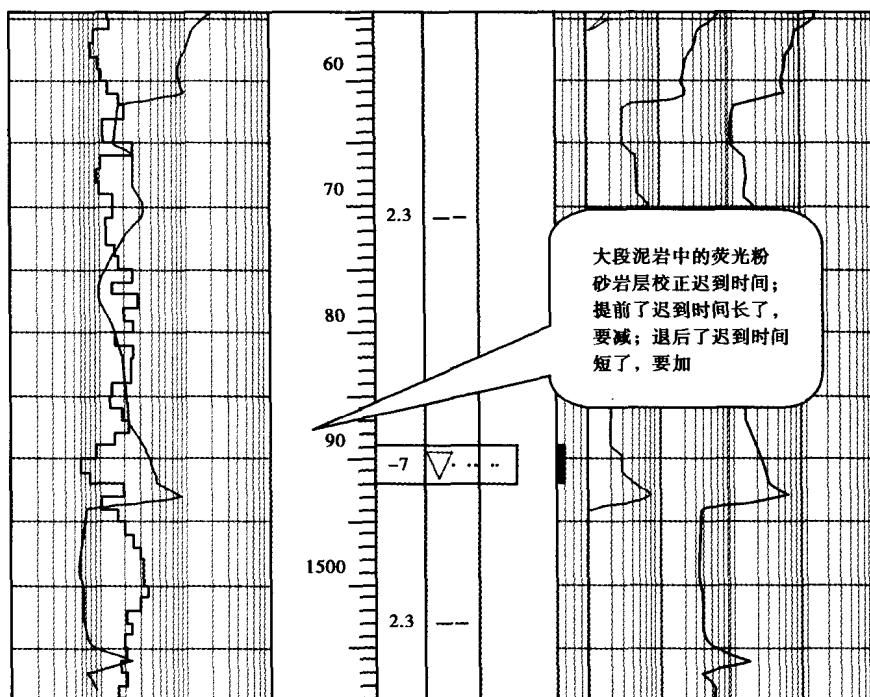


图 3-3 迟到时间校正实例

## 第二节 钻井液迟到时间校正

在录井过程中，为了保证迟到时间准确，要求定期对迟到时间进行校正。在刚下入的导管中，有可能测量泥浆泵的实效，获得准确的泵效率。迟到时间注意气体与实物测得的差别，并注意运用。现在测迟到时间注意的是泵的总冲数，还有效验系数，是否停泵要求不很严格（半工半自动时的要求）。

准确的迟到时间要经过三步获得：理论计算、实物测定、井下特征岩层校正。

### 一、迟到时间的校正要求

- (1) 钻开目的层前要实测迟到时间；
- (2) 每个班至少实测一次迟到时间；
- (3) 用大段单一岩性中的特殊岩层校正；
- (4) 迟到时间的理论计算、实际测定、校正都要记录成册。

### 二、迟到时间的校正时刻选择

- (1) 大段泥岩中的砂岩；
- (2) 大段泥岩中的灰岩或白云岩；
- (3) 大段砂岩中的泥岩；
- (4) 第一个油气显示层；
- (5) 校正变泵后迟到时间，排量改变晚于钻达时间又在取样时间前。

### 三、反比法校正迟到时间

实际钻进过程中，由于机械动力及其他原因引起泵排量变化而导致迟到时间变化。这时，根据前面所述理论及实测迟到时间计算公式，在别的参数不变的情况下，迟到时间  $T_L$