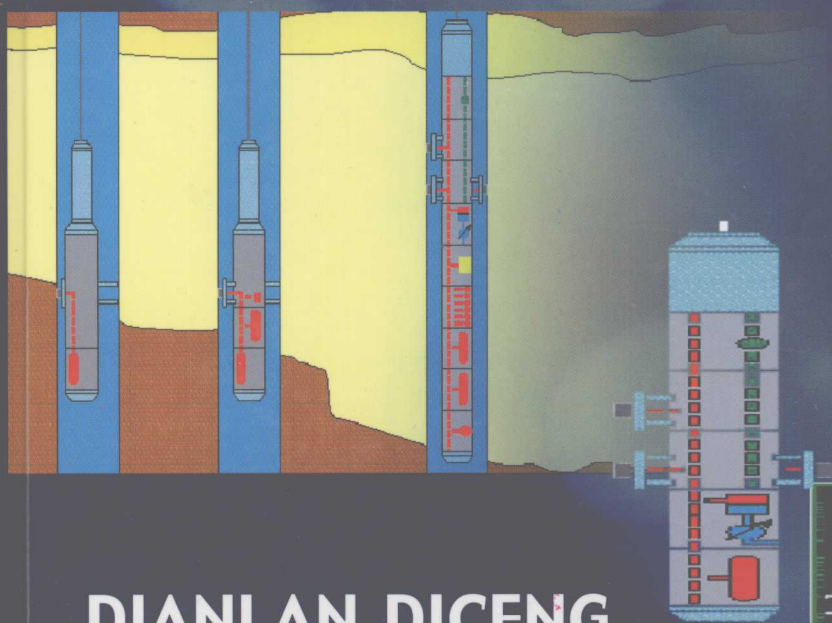


电缆地层测试资料 应用导论

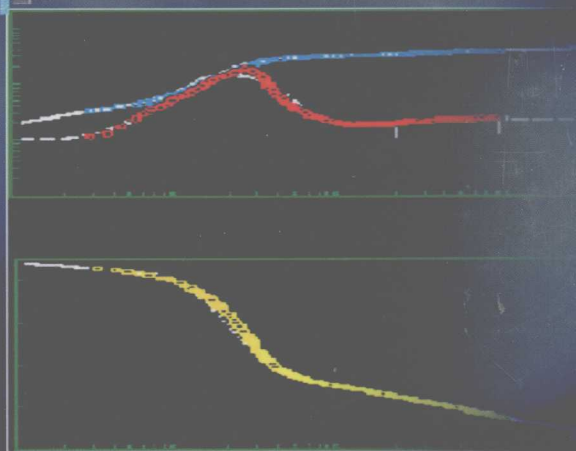
匡立春 主编



DIANLAN DICENG
CESHI ZILIAO
YINGYONG DAOLUN



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS



电缆地层测试资料应用导论

匡立春 主编

石油工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

电缆地层测试资料应用导论 / 匡立春主编.

北京: 石油工业出版社, 2005.10

ISBN 7-5021-5240-7

I.电…

II.匡…

III.①电缆式地层测试器—理论②电缆式地层测试器—
应用—油气勘探③电缆式地层测试器—应用—油田
开发

IV.TH763.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 113611 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.cn

总机: (010) 64262233 发行部: (010) 6420392

经销: 全国新华书店

印刷: 河北省欣航测绘院印刷厂

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月第 1 次印刷

787 × 1092 毫米 开本 1/16 印张: 9.25

字数: 300 千字 印数: 1 - 1300 册

定价: 68.00 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

电缆地层测试是目前国内各油田广泛使用的一种测井技术。使用的仪器大多是从国外测井公司引进的,其仪器的原理、功能和性能基本类似。MDT (The Modular Formation Dynamics Tester Tool) 模块式电缆地层动态测试仪是斯伦贝谢测井公司20世纪90年代推出的一种新型电缆地层测试仪。它具有独特的地层测试功能,是MAXIS-500成像测井系统配备的一支重要的下井仪。实践表明,MDT的出现使得测井技术在储层评价、油藏评价、产能评价等方面显示出独到的优势。

MDT测井作为油气层快速评价的有效手段,从1992年起广泛应用于准噶尔盆地的油气勘探开发中。为地质家正确认识储层特征、流体性质、油气藏类型提供了可靠的依据。近年来在陆梁油田、卡因迪克油田、呼图壁气田、沙南油田、莫北油田等油气田的快速发现、油气藏评价等方面发挥了巨大作用。

本书分为五章:第一章介绍了MDT测井仪器的结构、简单原理、技术指标,以使读者对MDT仪器有所了解。第二章讨论了MDT的测前设计,首先介绍了解释评价人员在测井前应做的准备工作,然后根据准噶尔盆地多年的应用经验,阐述了MDT测井测前设计的原则、步骤和方法,并规范了MDT测井测前设计的内容。第三章阐述了在MDT测井过程中的质量控制,同时提出了MDT测井过程中测井数据的填写要求。第四章总结了MDT测井资料的解释方法。第五章给出了在准噶尔盆地使用MDT测井资料确定油气藏类型的典型实例。本书基于多年使用MDT测井仪器的经验,列举了大量的现场测井资料进行实例分析。它是对MDT测井技术在准噶尔盆地应用以来成功经验和失败教训的总结。MDT资料的应用,是在不断总结前人所做工作的基础上进行的。林祖彬、黄思赵以及未提到的其他许多同志都付出了心血。希望通过本书,能给地质家及现场工程师对MDT的现场测井施工、资料的分析和应用提供一定的借鉴和帮助。

限于编者水平,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

参加本书编写工作的还有:刘杰、李琴、欧阳敏、程芳、谭蓉、倪律、刘春林、杨雷等。

《电缆地层测试资料应用导论》

编写组

主 编：匡立春

副主编：吕复苏 孙德杰

编写人：高秋涛 时新芹 孙中春 叶运清

王志强 王 智 李淑云 苗红生

郭桂生 李世清

目 录

第一章 MDT 仪器介绍 1

- 1.1 标准的 MDT 仪器 4
 - 1.1.1 供电模块(MRPC) 4
 - 1.1.2 液压模块(MRHY) 4
 - 1.1.3 单探头模块(MRPS) 4
 - 1.1.4 取样模块(MRSC) 11
 - 1.1.5 流线系统 11
 - 1.1.6 井底测试 17
- 1.2 可选择模块 18
 - 1.2.1 多探头模块 18
 - 1.2.2 流量控制模块 20
 - 1.2.3 泵出模块(MRPO) 21
 - 1.2.4 多样品模块(MRMS) 24
 - 1.2.5 双分隔器(密封圈)模块(MRPA) 25
 - 1.2.6 流体分析模块(OFA/LFA) 27
- 1.3 MDT 仪器技术指标 34

第二章 MDT 测前设计 35

- 2.1 MDT 测前准备 37
 - 2.1.1 区域资料 37
 - 2.1.2 录井资料 37
 - 2.1.3 钻井资料 37
 - 2.1.4 测井目的 38
 - 2.1.5 钻井液电阻率及地层水电阻率 38
- 2.2 MDT 测井的整体原则 38
 - 2.2.1 测压 38
 - 2.2.2 流体分析 39
 - 2.2.3 取样 39
- 2.3 MDT 测前设计 39
 - 2.3.1 测井资料初步分析 39
 - 2.3.2 MDT 测前设计主要考虑的因素 40
- 2.4 MDT 测前设计修改及补充 53

2.5 MDT 测井测前设计软件简介 53

2.6 MDT 测前设计表 54

第三章 MDT 测井作业及质量评定 57

3.1 MDT 测压过程控制及质量评价 59

3.2 MDT 流体分析过程控制及质量评价 59

3.3 MDT 压力测试数据及流体分析结果 60

3.3.1 MDT 压力测试数据表的填写要求 60

3.3.2 MDT 流体分析结果数据表的填写要求 63

3.4 MDT 测井之后 63

3.5 MDT 现场测井注意事项 64

第四章 MDT 测井资料解释 67

4.1 MDT 压力测试资料的解释 69

4.1.1 MDT 压力测试资料的定性分析 69

4.1.2 MDT 压力测试资料的定量解释 80

4.1.3 MDT 压力资料的应用 93

4.2 MDT 流体分析资料的解释 98

4.2.1 MDT 流体分析资料解释需考虑的因素 99

4.2.2 MDT 流体分析中的特殊情况 116

4.3 MDT 取样资料的解释 123

4.3.1 确定地层流体性质参数 123

4.3.2 判断储层生产流体的性质 124

第五章 MDT 确定油气藏类型典型实例 127

5.1 一砂一藏(陆梁油田) 129

5.2 多砂一藏(呼图壁气田) 131

5.3 PVT取样技术(莫北油气田) 135

参考文献 138

附录 139



第一章

MDT 仪器介绍

第一章 MDT 仪器介绍

模块式电缆地层动态测试器 MDT(Modular Formation Dynamics Tester)是斯伦贝谢测井公司 20 世纪 90 年代推出的一种新型地层测试器。作为新一代电缆地层测试仪,可进行测压、流体识别、井下流体取样、渗透率评价、预测产能、确定油气水界面、判断储层连通性等功能,是提供储层重要参数的直接手段。

第一代地层测试器 FT(Formation Tester,1955)主要用于流体取样。但一次下井只能取一个样,随后被 FIT(Formation Interval Tester)取代。1975 年, RFT(Repeat Formation Tester)问世,使得重复测压成为可能。新一代电缆地层测试仪 MDT 补充发展了许多重要的功能,与以往的电缆地层测试仪相比具有更灵活多样等多方面的优点(图 1-1):

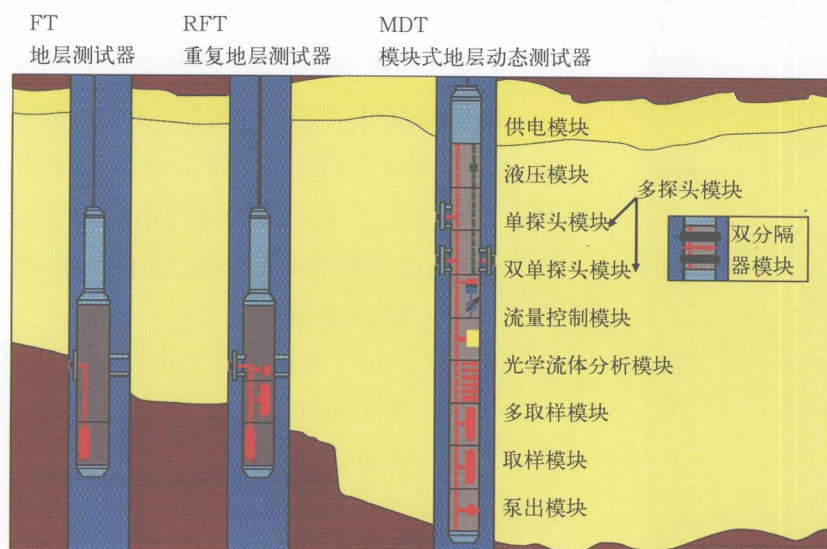


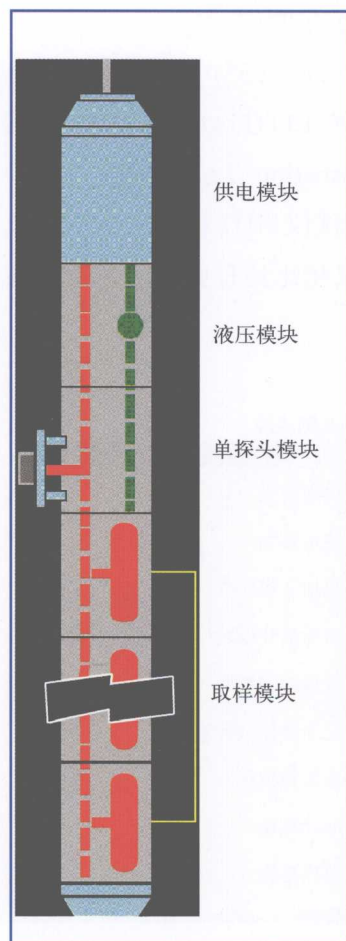
图 1-1 电缆地层测试仪的发展历程

- (1) 新型的石英压力计,对压力和温度反应迅速灵敏,大大减少了井场测压时间;
- (2) 非均质层,通过实时地面控制流速和体积,选择最佳逐点压力测定;
- (3) 压力梯度的建立更为准确;
- (4) 确定垂向和水平渗透率,深化了渗透率的测量;
- (5) 井下流体性质识别技术更为完善及多样化。

标准的 MDT 仪是整个系统的核心,其可选择模块提供的一些功能可作为特殊用途。

标准的MDT仪包括：供电模块、液压模块、单探头模块及取样模块，主要满足基本的测试要求。可选择模块包括：多探头模块、多样品模块、流量控制模块、泵出模块、光学流体分析模块、双分隔器（密封圈）模块，可根据测试目的和要求进行选择。

图 1-2 标准 MDT 仪器模块



1.1 标准的 MDT 仪器

1.1.1 供电模块(MRPC)

供电模块通过电缆总线为所有其它模块提供电力。该模块位于仪器的最顶部(图 1-2)。

1.1.2 液压模块(MRHY)

液压装置通过液压总线传输驱动压力，对仪器提供最基本的液压动力源。液压模块的压力由地面控制的电动泵提供，所以该模块可放置在供电模块以下的任何位置工作，而与钻井液柱压力无关，即使在很浅的地层处，它仍然有足够的压力使封隔器与地层密封良好(图 1-2)。

1.1.3 单探头模块(MRPS)

探头包括：探管、过滤器、封隔器、活塞及流管。探管是一个镶嵌于封隔器中央的钢管。探管内有过滤器及活塞，过滤器可以防止地层中细小的

固体物质进入工作部分而堵塞探管。当一次预测试完成后，活塞的复位运动把过滤器清洗干净，从而大大减少了流管被堵的机会(图 1-3)。

封隔器是一个橡胶垫圈，它被放在探头的环状平面与井壁之间，用于封隔地层。当仪器下到指定的地层后，井下仪器的推靠臂推向井壁，同时强大的反作用力压缩与推靠臂相对的橡胶垫圈，使仪器的主体与井壁不接触，减少了遇卡的机会。橡胶垫圈使仪器内部的测试空间与地层连通，与井筒内的钻井液压力隔绝与密封。一旦密封不好，压力测量就只能测量到钻井液柱压力，测试

就失败了。由于井下仪器推靠时的压力很大和工作中的磨损，一个橡胶封隔器大约能封隔一百次左右(图 1-3)。



图 1-3 MDT 流线系统示意图

MDT 有五种探头类型，以适应不同的地层条件。它们可以与各种封隔器和过滤器相组合。图 1-4a、b、c、d、e 所示给出了组合的 5 种探头类型。(1)与标准封隔器组合的标准探头；(2)与大面积封隔器组合的标准探头；(3)长嘴探头；(4)大直径探头；(5) 马丁钮(Martineau)探头。在详细描述各种探头之前，下面先介绍与之配套使用的各种封隔器。

1.1.3.1 封隔器

封隔器有 5 种不同类型：

第一种是标准封隔器，直径 3.27in(8.3cm)。它适用于任何尺寸的井眼，并能提供较好的全套服务。

第二种是加强型封隔器，它与标准封隔器大小一样，只是在探头内加了一个金属衬管。金属衬管可防止探头周围的封隔器受到

腐蚀。压力较高的气层或压差较大的井段容易使探头周围的封隔器受到腐蚀。在使用油基钻井液钻井时,加强型封隔器似乎比标准封隔器使用效果要好。

第三、第四种封隔器半径分别为 4.5in(11.4cm)、6in(15.2cm)。这两种封隔器有一定的弯曲度。设计这两种封隔器的目的就是为通过增加封隔器的表面积提高大井眼中仪器的密封性,同时,在微裂缝或钻井污染地层,这种封隔器的应用效果也较好。

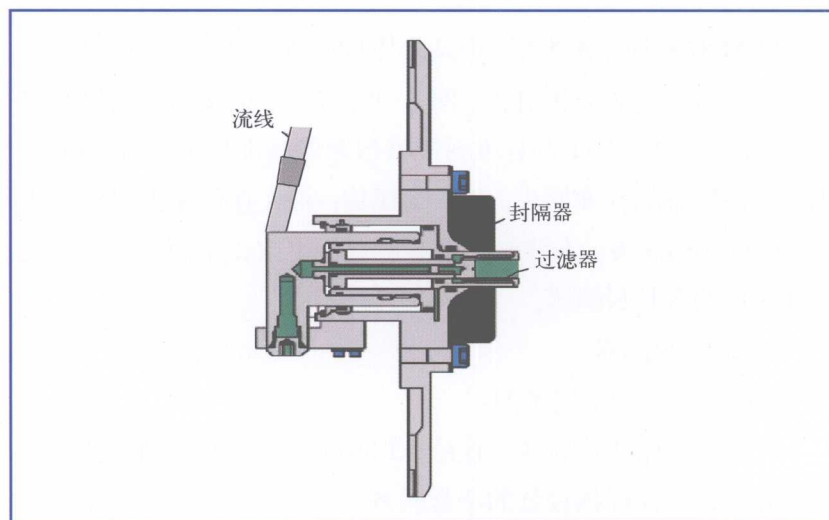
最后一种封隔器是大面积封隔器。它使探头的有效面积大大增加,达到 $3.976\text{in}^2(60\text{cm}^2)$ 。这种封隔器有助于低渗透层的压力得到较快的恢复,同时,在渗透层与非渗透层交界处可提高取样的机会,在疏松地层可减小压降。它的最大缺陷是:当封隔器座封时,封隔器与探头前面的一部分泥饼相接触,若泥饼中有许多固体物质或堵漏材料,则过滤器被堵塞。若泥饼中无堵漏材料、泥饼很少或泥饼为细粒物质,就不会出现上述问题。选择缓冲器可保护封隔器。

1.1.3.2 探头

MDT 探头有如下 5 种类型:

(1) 标准探头。入口横截面面积为 $0.15\text{in}^2(0.97\text{cm}^2)$,过滤面积为 $1.24\text{in}^2(7.98\text{cm}^2)$ (图 1-4a)。

图 1-4a MDT 标准探头



(2) 与大面积封隔器组合的标准探头。与标准探头的区别在于, 它使用大面积封隔器(图 1-4b)。

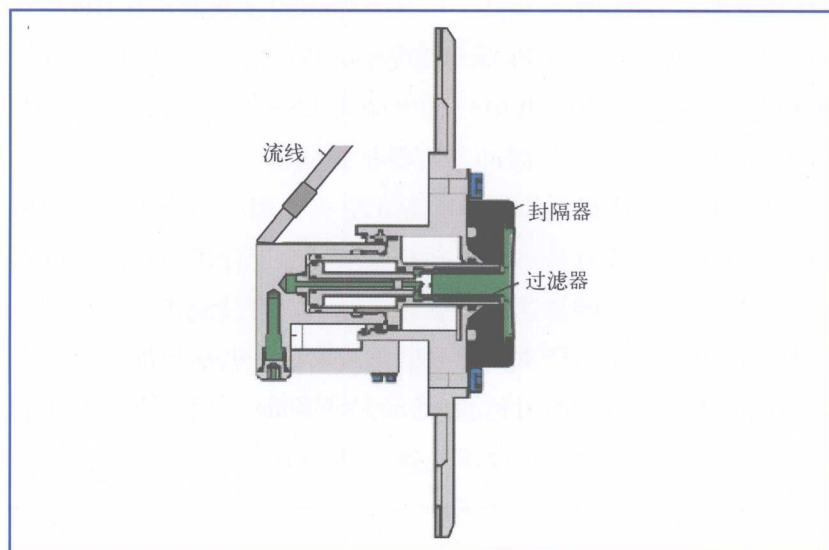


图 1-4b MDT 与大面积封隔器组合的标准探头

(3) 长嘴探头。长嘴探头直径和标准探头直径一样, 但更长一些。过滤器部分比标准探头长 0.36in(0.91cm), 过滤器面积为 1.73in^2 (11.25cm^2)。它只能与开度为 0.018in 的过滤器组合, 封隔器的选择也有限制, 只能使用标准封隔器和增强型封隔器。

长嘴探头主要应用于易堵塞过滤器的厚泥饼地层或高渗透性、疏松地层及钻井污染地层。在疏松地层的使用效果取决于地层的疏松程度及测试期间压力下降的大小(图 1-4c)。

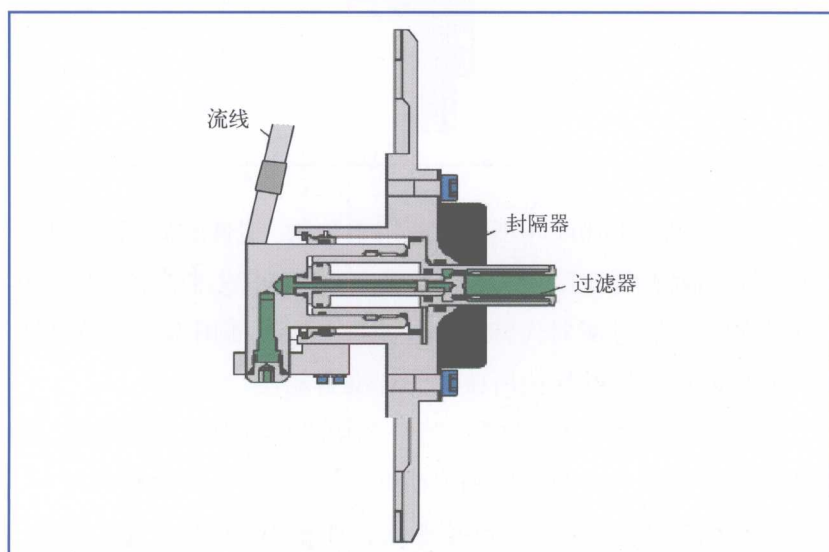
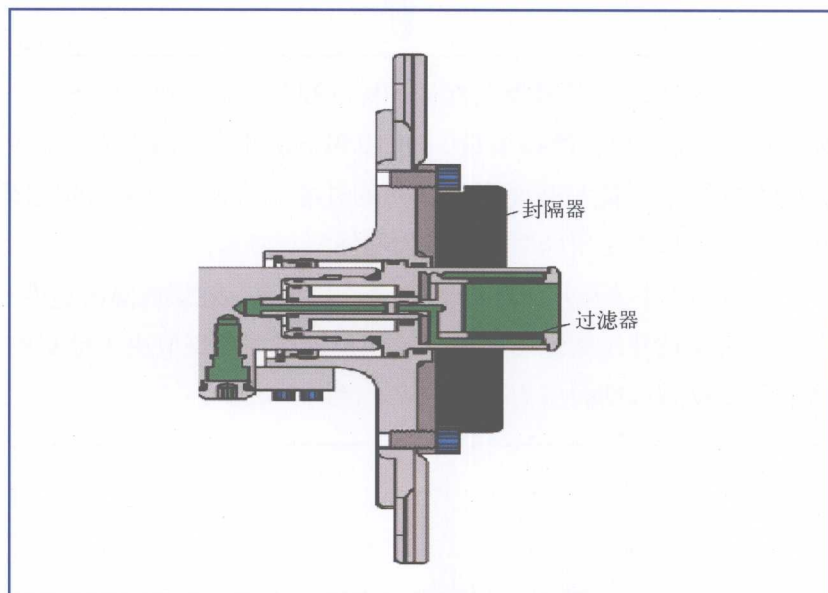


图 1-4c MDT 长嘴探头

(4)大直径探头。入口横截面面积为 $0.85\text{in}^2(5.48\text{cm}^2)$,过滤面积为 $4.34\text{in}^2(30\text{cm}^2)$ 。大直径探头可与 0.012in , 0.018in , 0.008in , 0.006in 四种过滤器组合使用。其中 0.006in 的过滤器不在 HPC 中, 0.012in 的过滤器有一个砾石充填配套元件,用于过滤细砂。可与两种封隔器组合使用,其中一种半径为 $4.5\text{in}(11.4\text{cm})$,另一种半径为 $6\text{in}(15.2\text{cm})$ 。选择缓冲器可保护封隔器。

大直径探头使得流体通过的面积更大,因此减小了地层的压降。它的另一个优点是可使用砾石充填配套元件进行过滤,砾石充填过滤器在不影响渗透率测量的情况下,可过滤较多的细砂级颗粒。如果地层出砂严重,过滤器将被堵塞。若地层泥饼厚且由小颗粒组成,则过滤器可过滤掉大部分的细砂。对于有厚泥饼的地层而言,此探头并不是最佳选择(图 1-4d)。

图 1-4d MDT 大直径探头



(5) 马丁钮(Martineau)探头。适用于松软、塑性的砂泥岩地层。入口横截面面积为 $0.126\text{in}^2(0.32\text{cm}^2)$ 。它没有过滤器活塞,而是用一个大的金属罐过滤器代替标准过滤器,也可使用砾石充填过滤器。它仅能使用标准探头所使用的标准封隔器。

这种探头有两个主要缺陷,第一个缺陷是没有过滤器活塞,因而使探头过滤器与井眼流体和泥饼直接接触,在某种井眼状况下,过滤器很快被堵塞;另一个缺陷是入口面积小,和其它探头相比,

压降更大。它最大的优势是：过滤器面积大(图 1-4e)。

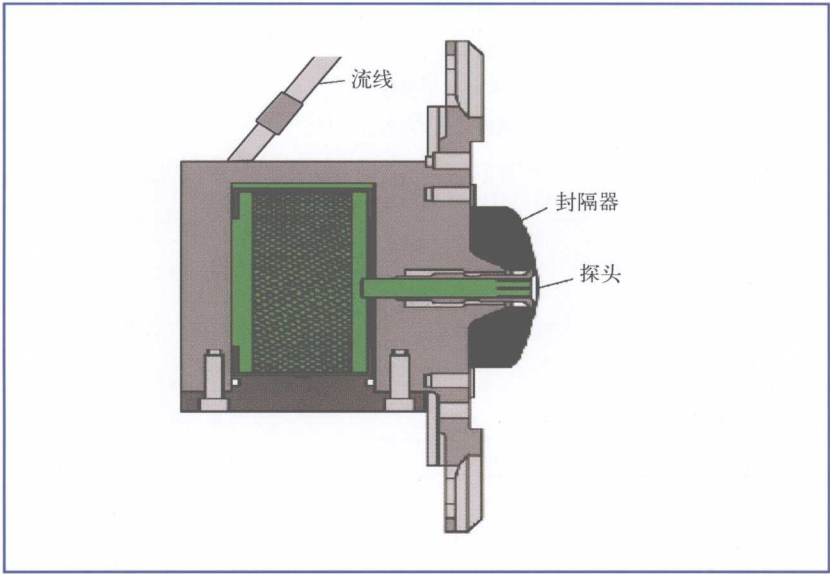


图 1-4e MDT 马丁钮(Martineau)探头

1.1.3.3 探头的选择

表 1-1 列出了每一种探头的特性，并把每种探头的入口横截面面积、过滤器面积、入口横截面面积与过滤器面积之比和标准探头做了对比。表 1-2 列出了可用的探头及配套使用的过滤器和封隔器。

表 1-1 探头的特性

探头名称	标准探头	大面积封隔器探头	长嘴探头	大直径探头	马丁钮探头
入口横截面面积(CSA)	0.15in ² (0.97cm ²)	3.97in ² (60cm ²)	0.15in ² (0.97cm ²)	0.85in ² (5.48cm ²)	0.126in ² (0.32cm ²)
过滤器面积(FA)	1.24in ² (7.98cm ²)	1.24in ² (7.98cm ²)	1.73in ² (11.2cm ²)	4.34in ² (30cm ²)	20.69in ² (133cm ²)
过滤器面积比(FAR)	8.25	0.31	11.5	5.1	165
相对过滤器面积比值(RFAR)	1	0.038	1.4	0.62	20
相对入口面积(RIA)	1	26.5	1	5.67	0.84

表 1-2 可用的探头及配套使用的过滤器和封隔器

探头名称	探头编号	封隔器	过滤器	砾石充填 配套元件
标准探头	H433565	H223380 - 标准 H223426 - 增强性 H433478 - 大面积 H433566 - 半径 4.5in(大) H433567 - 半径 6in(大)	H708736 - 0.018 H433393 - 0.012	无
长嘴探头	H708743	1.24in ² (7.98cm ²)	H708736 - 0.018	
大直径探头	H708153	0.31in	H223479 - 0.012 H223448 - 0.018 H223478 - 0.008	H708599
马丁钮探头	H708680	0.038in	H708683	H703378

(1) 入口横截面面积(CSA)。

入口横截面面积与探头前面所包围的井壁表面积相同,流体通过探头进入仪器。如果在泥饼较厚或由于钻井污染产生的疏松地层颗粒易于堵塞探头时,就应使用最小入口横截面面积探头。对于低渗透性地层或未胶结地层,就应使用最大入口横截面面积探头。入口横截面面积大可使压降达到最小,在疏松地层可减少出砂量;同时,入口横截面面积大还可增加低渗透层的有效流速,减少测压和取样时间。

(2) 过滤器面积(FA)。

过滤器面积越大,它能过滤的外部物质就越多。

(3) 过滤器面积比(FAR)。

它是过滤器面积除以入口横截面面积的比值 (FA/CSA),在对各种探头进行比较时,此比值比仅用过滤器面积进行对比效果要好。泥饼越厚越容易堵塞探头;入口横截面面积越大,流入探头的物质则越多,并需要过滤。例如,大直径探头的过滤器面积是标准探头的 3.5 倍,它的入口横截面面积是标准探头的 5.67 倍,则过滤器面积比是标准探头的 8.25 倍,大直径探头的过滤器面积比为 5.1。以上表明,标准探头可处理的疏松物质比大面积直径探头多。

(4) 相对入口面积(RIA)。

它是探头入口面积除以标准探头入口面积的比值。此比值是对