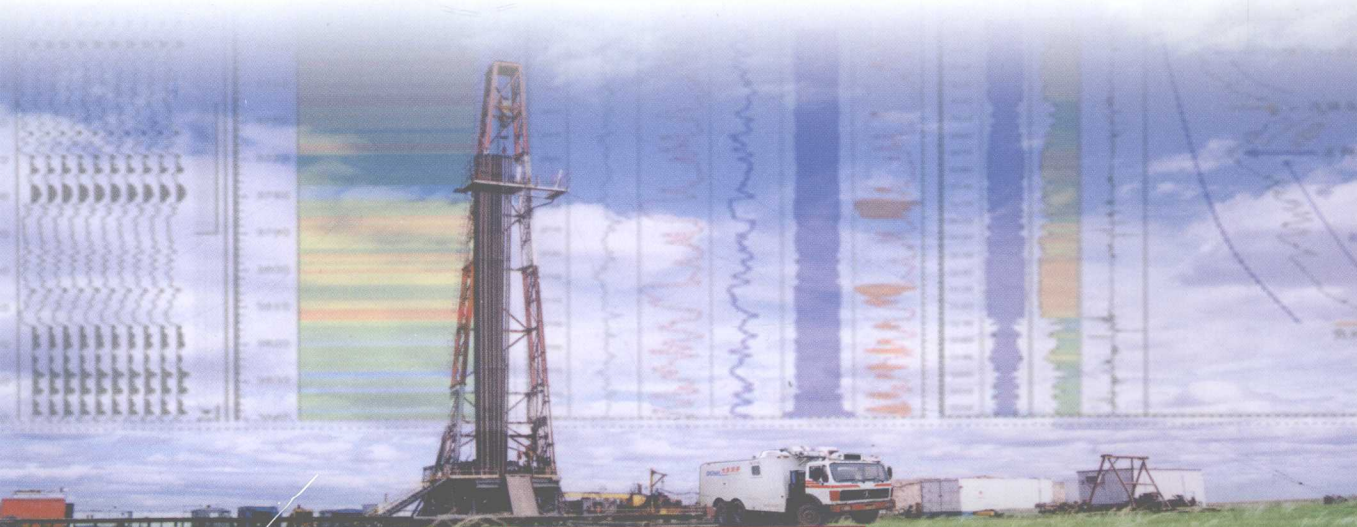


高等学校教材

油气田生产测井

陈科贵 胡 俊 谌海云 编著



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等学校教材

油气田生产测井

陈科贵 胡 俊 湛海云 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

全书共分为七章,主要内容涉及地层测试、井斜测井、套管测井、射孔工艺、井温测井、剩余油饱和度评价、井筒流体的动态评价等。本书基本概念清楚,内容精炼,图文并茂。

本书是为勘查技术与工程、资源勘查工程、石油工程以及相应的继续教育专业编写的生产测井原理与评价的课程教材,既可作为教材使用,又可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

油气田生产测井/陈科贵 胡 俊 湛海云编著.

北京:石油工业出版社,2009.8

(高等学校教材)

ISBN 978-7-5021-7321-0

I. 油…

II. ①陈… ②胡… ③湛…

III. 油气田—生产测井—高等学校—教材

IV. TE151

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 138395 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)

发行部: (010)64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 中国石油报社印刷厂

2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 11.25

字数: 285 千字

定价: 17.00 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

本教材是为勘查技术与工程专业的生产测井原理与解释课程编写的,主要介绍了油气田生产测井的基本原理、资料的解释方法及其有关应用,以及油气田开发过程中的岩石物理性质、剩余油气饱和度的计算和油气藏孔、渗、饱的评价方法等。全书总共分为七章,第一章为地层测试器,第二章为井径、井斜和套管测井,第三章为射孔工艺原理,第四章为井温测井,第五章为工程放射性测井,第六章为油田开发中后期的剩余油饱和度评价,第七章为井筒流体动态参数测量。为了使學生尽快掌握生产测井的基本内容,在编写教材时,以讲清楚基本概念、基本理论为主,尽量避免烦琐的理论推导,突出资料的现场实际应用。

生产测井在石油勘探开发中的重要性越来越大。本教材除用于勘查技术与工程专业外,也可作为资源勘查工程、石油工程专业等相关专业的生产测井原理与解释课程的教材和参考书。本教材课时约需50~60学时,讲授时可根据教学计划做适当增删。

本教材由西南石油大学李士伦、谈德辉主审,中国石油大学(华东)孙建孟参审。在教材的审稿过程中,审稿人对全书进行了认真详细的审阅,提出了许多宝贵意见。在教材编写过程中,大量参考和引用了国内公开发表和出版的论文、译著及有关相关文献资料。另外,西南石油大学资源与环境学院、教务处和学校教材委员会的领导为这本教材的出版给予了热忱指导与亲切关怀并付出了大量心血。在编写过程中,本书得到四川省重点学科建设项目(编号:SZD0414)的资助,在此一并表示衷心感谢!

本书的第一、二、三、四、七章由陈科贵、胡俊编写,第五、六章由湛海云编写,陈科贵负责全书统稿。

由于编者水平有限,目前有关这方面内容的技术发展又相当快速,因此,教材中难免存在不妥和错误之处,希望读者批评指正。

编 者
2009年8月

目 录

绪论	1
第一节 生产测井的概念	1
第二节 生产测井简介	1
第三节 生产测井的特点	1
第四节 生产测井的主要用途	2
第五节 生产测井在油气田开发中的意义	3
第一章 地层测试器	4
第一节 重复式地层测试器	4
第二节 其他地层测试器	27
第二章 井径、井斜和套管测井	37
第一节 井径测井	37
第二节 井斜测井	40
第三节 套管测井	41
第三章 射孔工艺原理	46
第一节 跟踪射孔原理	46
第二节 过油管射孔原理	50
第三节 油管输送射孔原理	54
第四节 聚能射孔弹原理和射孔枪	56
第五节 水平井射孔技术	66
第六节 其他射孔工艺	71
第七节 井壁取心	73
第四章 井温测井	76
第一节 热力学基础理论	76
第二节 井温测井的基本原理	79
第三节 井温资料的应用	82
第五章 工程放射性测井	92
第一节 中子寿命测井	92
第二节 放射性同位素测井	96
第三节 碳氧比能谱测井	99
第四节 过油管储层评价测井	102
第六章 油田开发中后期的剩余油气饱和度评价	112
第一节 油田开发期的淡水水淹层双饱和度评价方法	112
第二节 气层的碳氧比识别法	122
第三节 剩余油饱和度的评价与对比	126

第七章 井筒流体动态参数测量..... 131

 第一节 井筒流体的速度参量描述..... 131

 第二节 井筒流体在垂直管中的流动特征..... 136

 第三节 流量计测井..... 139

 第四节 持水率计测量..... 154

 第五节 流体密度测量..... 157

 第六节 生产测井资料的应用..... 160

参考文献..... 173

绪 论

矿场地球物理测井技术始于 20 世纪 20 年代。随着石油工业发展的需要,矿场地球物理已经发展成为勘探测井和生产测井两大类。生产测井作为测井学科的一个分支,与勘探测井方法有什么不同呢?生产测井能解决哪些方面的工程和技术问题呢?下面就这些问题作简要介绍。

第一节 生产测井的概念

油气田投产后,在生产井(或注入井)中进行的一系列测井称为生产测井。

生产测井与勘探测井的最大不同之处是:勘探测井几乎都是在裸眼井中进行的,可进行电、声、核等测量;而生产测井全部都是在套管井中进行的。由于套管是具有电磁性的金属物质,所以生产测井不能进行地层电磁特性方面的测量,只能进行声、核、流体性质和套管磁特性方面的测量。

第二节 生产测井简介

生产测井仪器主要分为下井仪器和地面记录仪两部分。

测井时,用电缆把下井仪器经井口采油树下放到井中所要求的位置,然后再下放或提升电缆(连续测量)或者固定电缆(点测),下井仪器也就随电缆一起在井下同步移动,对井的物理参数进行测量。当仪器对探测井段进行测量后,就得到该探测井段的测井资料。资料的记录方式有两种:一种是模拟记录,它是把随深度变化的测井资料记录在照相胶片上,以曲线形式表现出来;另一种是数字记录,它是把随深度变化的测井资料记录在磁带或磁盘上。因此,数字记录有两种形式:磁带和磁盘。此外,进行生产测井的井的压力一般都较高,在仪器进入井口前,在采油树上要安装封井器,以免发生井喷及其他井场事故,确保生产安全。

第三节 生产测井的特点

生产测井受到井身条件以及使用范围的限制。与勘探测井相比,它具有如下特点:

(1) 下井仪器尺寸小。这主要是由于生产测井下井仪器是在套管或油管中进行的,套管或油管尺寸本身较小,也就限制了生产测井下井仪器的尺寸,如吉尔哈特公司的生产测井下井仪器的外径尺寸大都为 $1\frac{1}{8}$ in(36.5mm),斯伦贝谢公司为 $1\frac{1}{4}$ in(43mm)。裸眼井的井径较大,下井仪器也较粗,仪器外径均在 100mm 以上。

(2) 生产测井仪器在井筒中测井时,要承受较大的压力和较高的温度。生产测井仪器一方面要承受井筒液柱的压力,另一方面还要受到地层压力的作用,在有流体流动的井中,还

受到一个流体的冲力。这些力共同作用在仪器上，就使仪器承受的压力变得非常高。对于生产井，井下地层流体的温度一般都很高，且随深度增加而升高。流体在向地面的流动过程中，高温流体会把热量传递给周围介质，这样又促使整个井筒温度升高，因而整个测井过程仪器都置于一个高温环境中。

(3) 探测段长度短。生产测井在测井过程中，不是对整个井筒进行探测，只是对目的层上下的层段进行探测，测量长度较短，一般只有 100m 左右，所以完成一次测井较快。勘探测井要对钻井井段的全井段进行测量，测量长度较大，探测项目多，完成一次测井花费时间较长。

(4) 测井速度快。生产测井下井仪器外径较小，仪器性能比较稳定，又在套管(或油管)中进行，所以，这种测井都很安全、快速，仪器下井不易出故障，不易遇阻、遇卡等。

第四节 生产测井的主要用途

人们在大量的生产实践中逐步认识到生产测井对油田开发的重要性。目前，不仅我国在各油田开展生产测井工作，世界上绝大多数国家的油田也广泛把生产测井工作引入油田开发中。生产测井在石油工业中具有用途广、见效快等特点。下面就简要介绍一下生产测井在油田开发中的一些主要用途及其相应的测井方法。

一、检查酸化、压裂效果——同位素示踪测井

一些老井由于油气的采出，压力降低，产量下降，用酸化压裂的方法可把原来不连通的死孔隙中的油气通过酸化压裂后产生的孔道流出，能提高油气产量和原油采收率。

二、确定生产层含油饱和度的变化和水淹层的含水饱和度——中子寿命测井

确定生产层含油饱和度的变化，是根据不同时间的中子寿命测井以及油气和岩石参数不变的特点来了解两次或多次测井期间含油饱和度的变化情况。

水淹层是指原来产油或气的地层变成完全产水的地层。这种情况不是指地层中不含油气，而是含有油气只是暂时无法采出。水淹层的含水饱和度是根据前后两次中子寿命测井及油气、岩性参数不变和含水饱和度不变的特点而得到。

三、检查套管腐蚀变形情况——多臂井径仪、套管磁仪

井下地层产液中的地层水具有一定矿化度，有不同的 pH 值。这些液体长期与套管接触，会对套管造成腐蚀。此外，由于地层应力在各方的大小不可能完全一致，作用在套管上的力也就不均衡，长期作用的结果是使套管腐蚀、变形。

四、判断产出、注入、漏失层位——井温测井

当井内有流体流动时，井筒内的温度会因此而受到影响；流体的流动状态不同，井内温度会有相应反映。

五、确定井内流体的流速和产量——流量计测井

在多层开采的井中，为了了解各层的生产状况(产出、漏失、注入、停产)和产液量的多少，可用流量计测井来监测。流量计根据不同的目的可分为连续流量计、封隔式流量计和示

踪流量计等。

六、确定产液性质——流体密度测井

地层的产液性质不同，其密度是有区别的。气的密度最小，油的密度较大，水的密度比油大，一些含有重矿物的水的密度可能大于 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 。根据这些特点，可用密度计测井来鉴别地层产液性质。

七、确定井筒产液持水率的大小——持水率计测井

在正常生产的油井中，井筒内悬持的水的体积与流体总体积之比称为持水率。在生产井中，完全产油或产气的井很少，大多是油水、气水或油气水共产，持水率计测井就能很好地分辨出产液中含水的多少。

八、校准测井深度——套管接箍测井

仪器在井下移动时，会因井下流体粘度、温度和电缆伸长量的影响，使仪器探测出的深度与井下仪器所处的深度不一致。套管接箍测井就能通过寻找套管接箍把其他测井的深度校准。

九、测定地层压力及地层流体成分——重复式地层测试器

确定这些参数可用压力计和取样法，目前主要使用重复式地层测试器。

第五节 生产测井在油气田开发中的意义

生产测井与勘探测井相比，有其自己的特点，前者研究油藏的动态参数，如地层流体的流速、流体的运动状态等；后者研究油藏的静态物性参数和岩性参数，如孔隙度、渗透率、饱和度及岩性等。

生产测井在油田开发中广泛应用。它与勘探测井一起，能更准确地解决油藏的孔、渗、饱问题。通过多口井参数的综合分析，可在平面上勾画出整个油藏状况图，把握油气水的分布规律及油气水的推进规律和递减关系；为本地区、本油田制定合理的开发方案提供最切合实际的资料；同时，还能为提高原油采收率，为油田高产、稳产提供保证。

第一章 地层测试器

第一节 重复式地层测试器

重复式地层测试器(RFT)是由 20 世纪 50 年代获取地层流体样品的电缆地层测试器发展

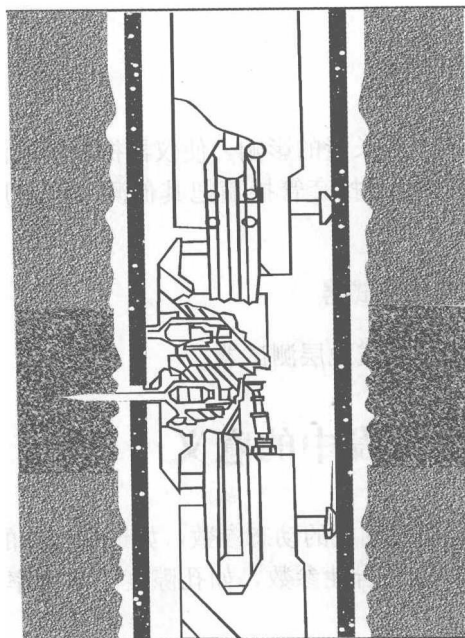


图 1-1 套管内的电缆地层测试器示意图

而来的。目前,重复式地层测试器已成为在裸眼井和套管井中大量使用的一种测试手段。它可以测取地层压力参数,采集地层流体样品,从而对地层的有效渗透率、生产率、地层的连通情况、压力衰竭情况等作出判断,为建立最佳的完井和开发方案提供依据。特别是在求取地层有效渗透率和油气生产率方面,可以说 RFT 在测井方法中是独一无二的。图 1-1 是用于套管井的地层测试器示意图,其特点是仪器外径小,需采用聚能射孔弹射孔测试和取样,并要配有及时封堵射孔孔眼的挤水泥装置。

一、重复式地层测试器简介

(一) 仪器外形

重复式地层测试器可在一次下井过程中进行次数不限的压力测量。测井时,通过电缆将仪器放到井内所需的深度上,然后测量油藏压力和油藏流体的流动能力,如果需要的话,还可以取出 1~12gal

(1gal=3.785L)的油藏流体样品。图 1-2 为 RFT 的外形结构示意图:(a)为仪器处于关闭的状态,(b)为仪器处于打开的状态。仪器的打开和关闭由地面液压动力系统控制。

(二) 仪器原理

图 1-3 为 RFT 的结构原理示意图。RFT 有 4 个电磁阀,其中 1 号为预测试阀,2 号为压力平衡阀,3 号为上取样罐阀,4 号为下取样罐阀。预测试阀用来控制两个预测室流体的流入和流出;上、下取样罐阀分别用来控制上、下取样罐流体的流入和流出;压力平衡阀在测压过程中用来排泄预测室中的流体。

(三) 过滤取样器

图 1-4(a)为 RFT 的预测试和取样原理图;图 1-4(b)为 RFT 密封极板上的过滤取样器原理图,其中左图为测试开始时的情况,右图为进行取样测试时的情况。过滤取样器可以将取样管伸入到有孔洞的地层中去,并能有效地避免测试过程中流动导管的堵塞。密封极板每次收拢时都自动清洗过滤器。

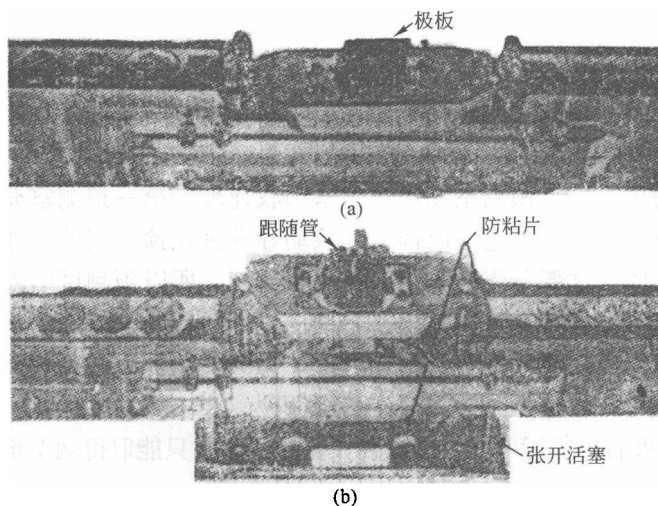


图 1-2 重复式地层测试器结构示意图

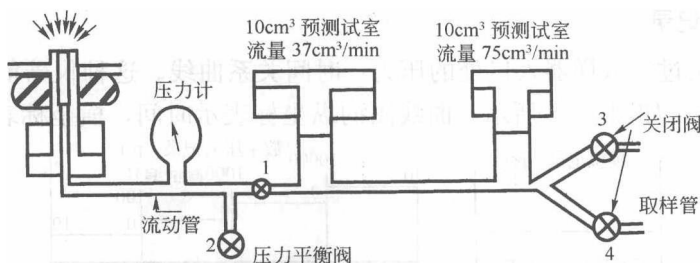


图 1-3 RFT 结构原理图

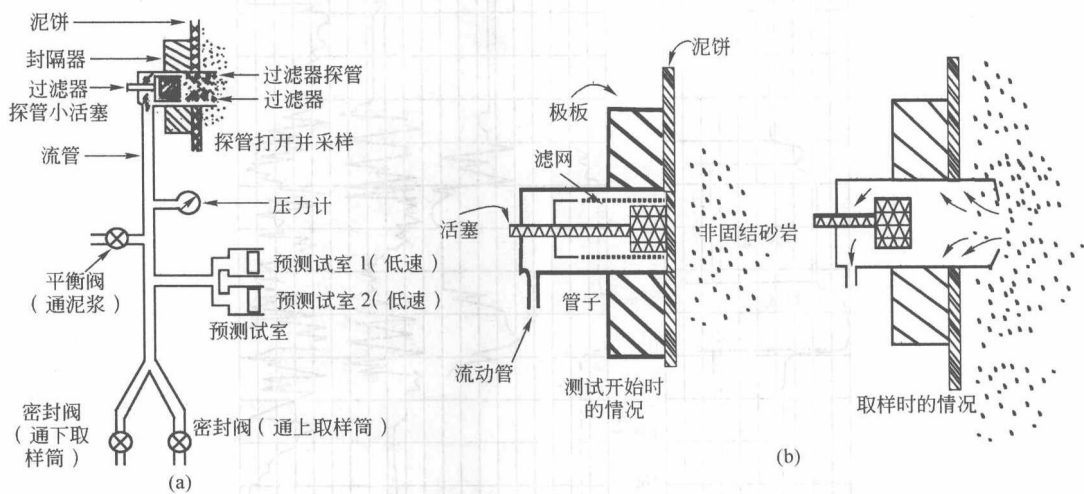


图 1-4 RFT 预测试与过滤取样原理示意图

(a)RFT 预测试和取样原理图；(b)RFT 过滤取样原理图

仪器下井时，后腿极板收拢，用 SP 或 GR 曲线控制深度，将下井仪下至预定深度，然后地面电动泵工作，仪器的后腿极板靠液压打开并贴靠到井壁上，同时仪器上带封隔器的密封极板也紧贴到对面井壁，由一小圆形封隔器对井壁进行封隔，如图 1-4 所示，将位于封隔器中心直径为 0.5in 的金属管穿过泥饼垂直伸入到地层中去。当封隔器内的活塞往复运动时，压力平衡阀和上、下取样罐关闭，预测试阀打开，地层流体便经滤网、流体导管、预测

试阀流入预测室。

这种仪器有两个预测室，每个预测室的体积均为 10cm^3 。地层流体先以 $37\text{cm}^3/\text{min}$ 的速度充填第一预测室，第一预测室充填结束时，启动第二预测室，第二预测启动以后，地层流体再以 $75\text{cm}^3/\text{min}$ 的速度充填第二预测室。两个预测室速度的大小受过滤取样器的活塞回收速度的控制。很明显，第二预测室充填时活塞回收速度是第一预测室充填的两倍。

在预测试过程中，从地层经过滤取样器、流动导管进入预测室的流体大部分是取样器周围井壁附近的地层流体。这部分流体基本上是泥浆滤液，所以预测试结束以后，进入预测室的流体不保存，随着仪器极板收回、压力平衡阀打开而被泵排出。随即预测井内泥浆柱压力，并可以把仪器移动到需要的地方再进行地层压力预测试。因此，这种仪器一次下井可进行无数次地层压力预测试。另外，取样部分还有容积为 $12\text{gal}(45.4\text{L})$ 的上下两个取样罐，在需要取样处，预测试结束后再进行取样，故这种仪器一次下井只能取得两个地层流体样品。

二、测试资料解释

(一) RFT 的记录

RFT 记录的是过滤取样器入口处的压力—时间关系曲线。这种仪器能同时记录模拟和数字两种压力曲线，如图 1-5 所示，曲线图的纵坐标表示时间，横坐标表示压力，以模拟

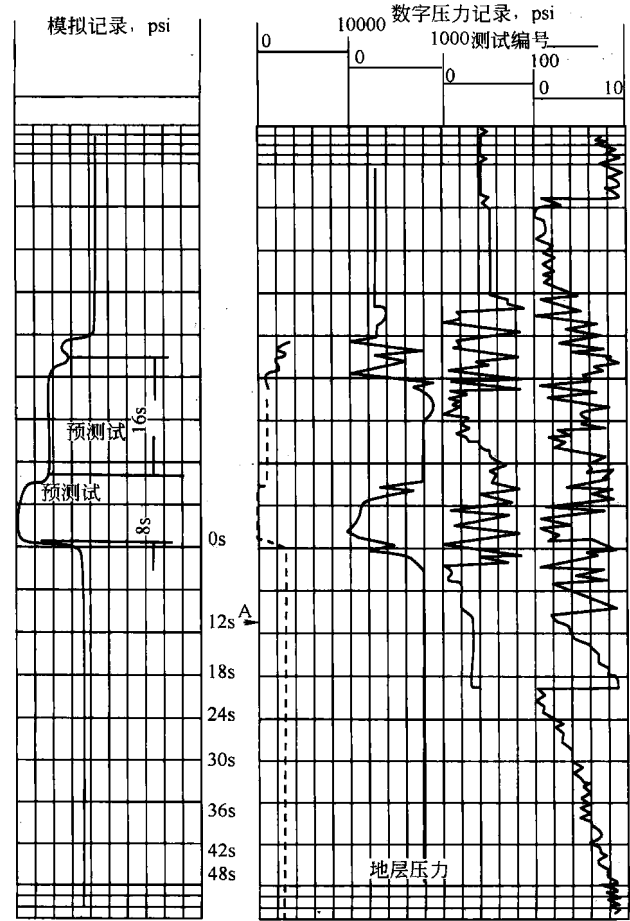


图 1-5 预测试压力—时间关系图

量记录的压力—时间曲线表示在图的左边一条记录道上，以数字量记录的压力—时间曲线表示在图的右边四条记录道上，这四条记录道的横坐标相应为四个不同的数量级压力单位，它们分别为 10000psi(1psi=0.006895MPa)、1000psi、100psi 和 10psi。仪器所记录的压力为各道压力之和，如图中 A 点的压力读数为：

$$3000+800+30+4=3834(\text{psi})$$

近年来，在斯伦贝谢的 CSU 系统上进行的压力记录又分为三个大的记录道：左边的模拟记录为一个大的记录道，右边的四道数字记录为一个大的记录道，中间数据记录为一个大的记录道。数据记录直接用数字将每隔 2s 所测试到的压力数值打印在图的相应位置上，如图 1-6 所示。为了便于读数和应用，模拟记录道的压力坐标分为 10 格，数字道中各记录道的压力坐标分为 5 格，时间坐标每隔 6s 出现一次细水平线，每隔 30s 出现一次粗水平线。

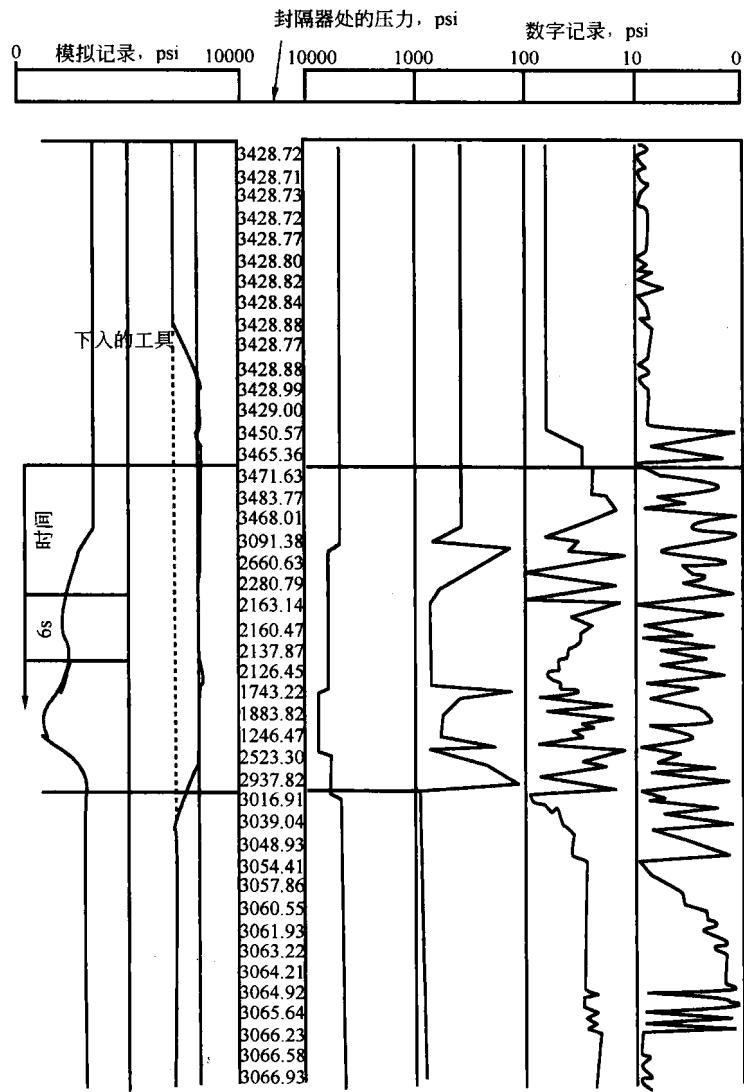


图 1-6 CSU 系统的预测试压力—时间关系图

(二) 曲线特征

重复式地层测试器记录的是过滤取样器入口处的压力。图 1-7 为预测试过程中的时间—压力关系模拟曲线。图中，a 为测试点的泥浆柱静水压力；b 为封隔器极板紧贴井壁时的压力；c 为第一预测试开始时的压力；d 为第一预测试过程中的流动压力；e 为第二预测试开始时的压力；f 为第二预测试过程中的流动压力；g 为第二预测试结束时的压力；h 为地层压力；i 为测试点的泥浆柱静水压力。显然， Δp_1 为地层压力与第一次预测试过程中的流动压力之差； Δp_2 为地层压力与第二预测试过程中的流动压力之差。

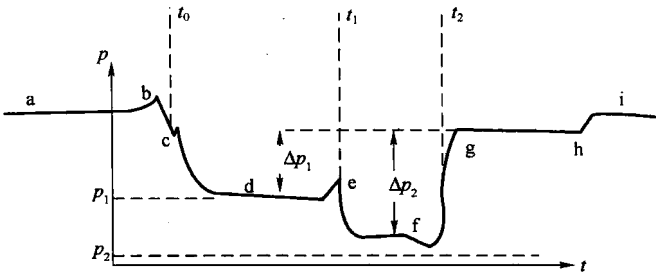


图 1-7 预测试过程中的时间—压力关系曲线

(三) 曲线的定性应用

图 1-7 为理想情况下的预测试曲线，在实际测试过程中会出现一些与理想曲线形状不一致的曲线特征。下面就对压力曲线上出现的不同特征作出一些定性分析。

1. 预测试时未能达到有效封隔

造成这种现象的原因有多种，如井壁不规则、封隔器极板曲率与井眼曲率不吻合、地层裂缝发育或仪器密封部件损坏等都可能出现，在压力曲线上表现为流动压力很快恢复到泥浆柱静水压力，压力曲线特征如图 1-8 所示。

2. 预测地层为干层或渗透性极差的地层

这种情况一般出现在致密地层中，压力曲线上两个 Δp 之间的模拟记录没有出现差别，即 $\Delta p_1 = \Delta p_2 \approx 0$ ，两次预测试的流动压力几乎都为零，此时， $p_{地} \approx 0$ ， $p_{流} \approx p_{地} \approx 0$ ，压力曲线特征如图 1-9 所示。

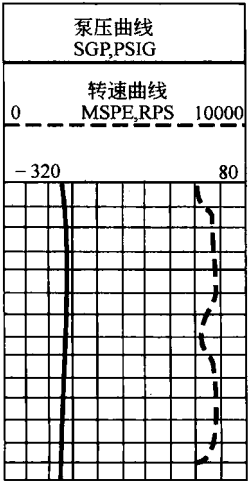


图 1-8 密封极板未有效封隔的实例

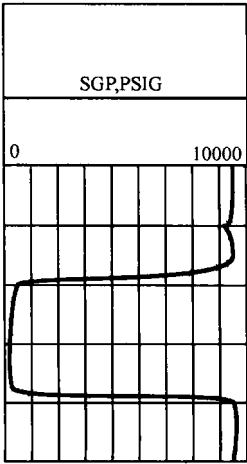


图 1-9 干层或渗透性极差地层的实例

3. 预测地层渗透性差或较差的地层

在以基质孔为主的碳酸盐岩地层中，因地层裂缝不太发育，渗透性差，两个预测试流动压力仍很低，但能分辨出 Δp_1 和 Δp_2 的变化，压力曲线特征如图 1-10 所示。

4. 预测地层渗透性较好的地层

由于地层渗透率较好，地层孔隙流体易流入两个预测室，这类地层的压力曲线上几乎观察不到 Δp_1 和 Δp_2 的变化，此时， $\Delta p_1 = \Delta p_2 \approx 0$ ，压力曲线特征如图 1-11 所示。

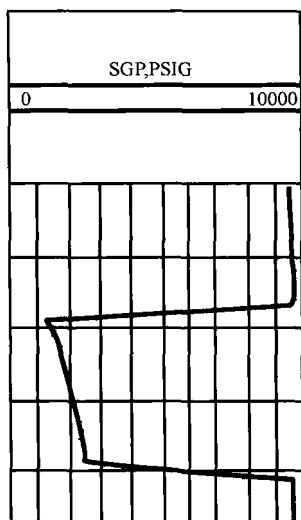


图 1-10 地层渗透性差或较差的实例

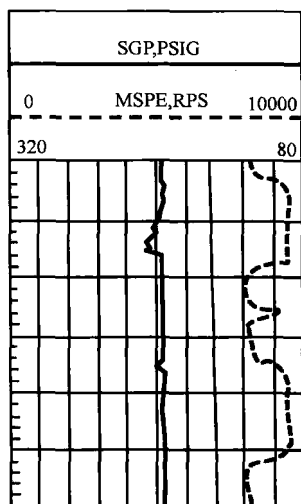


图 1-11 地层渗透性较好的实例

5. 预测试或取样过程中取样管堵塞

如果压力出现如图 1-12 所示的特征，即预测试的流动压力不稳定或无规律，则表示在预测试或取样过程中取样管发生了堵塞。当出现这种情况时，应及时回收仪器，用取样管中的活塞自动清洗取样管和过滤器。

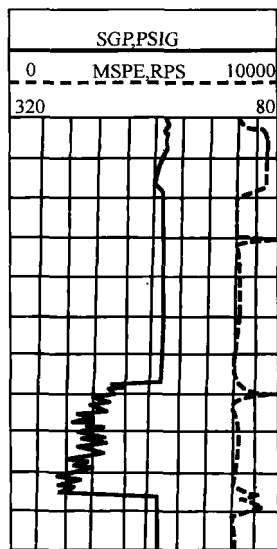


图 1-12 取样管堵塞的实例

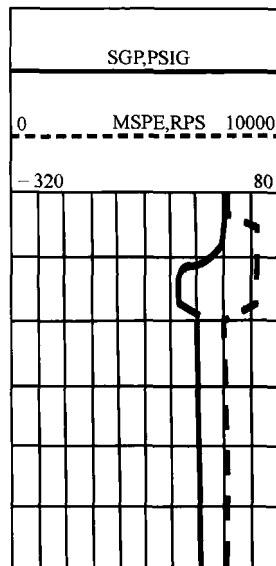


图 1-13 封隔失灵的实例

6. 预测试过程中封隔失灵

这种现象有可能是由于封隔器极板被推压到井壁上后, 井壁岩石受极板的推压力而破碎变形, 或者是由于压差使得封隔器内外原来的未连通的裂缝连通而使井内泥浆流入造成的, 或者是由于在预测试过程中封隔器极板破裂或密封件失灵等原因造成的。这类情况在压力曲线上表现为如图 1-13 所示的特征。

三、测试资料的应用

(一) 根据预测试压力资料确定渗透率

当地层测试器的取样管伸入地层, 从地层中抽取流体造成压力降低时, 由于取样管的内径很小, 预测试过程中采集的流体量很少, 这些流体大多数来自取样管周围一个很小的范围内, 因此, 可以把地层测试器取样管的金属管口视作点源, 把取样管周围的地层视作均匀无限介质, 这样预测试中造成的压力降是从点源出发的以半球形向外传播的, 等压面是以点源为中心的球面, 地层流体垂直于等压面流入地层测试器, 如图 1-14 所示。

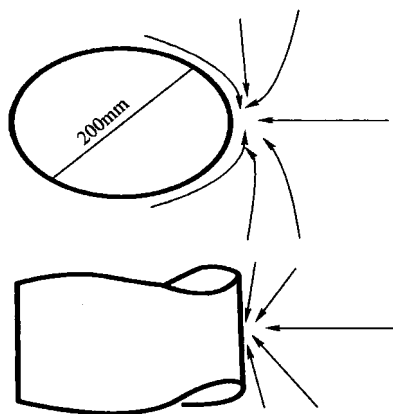


图 1-14 球形流动示意图

根据质量守恒定律, 球形流动的连续方程可写为:

$$q\rho|_{r+\Delta r} - q\rho|_r = 4\pi r^2 \Delta r \phi \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (1-1)$$

式中 r ——球形流动中球的半径, m;
 ρ ——地层流体密度, g/cm³;
 q ——地层流体流入预测室的流量, cm³/s;
 ϕ ——地层孔隙度, 小数。

由于 $q\rho|_{r+\Delta r} = q\rho|_r + \frac{\partial(q\rho)}{\partial r} \Delta r$, 则式(1-1)变为:

$$\frac{\partial}{\partial r}(q\rho) = 4\pi r^2 \phi \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (1-2)$$

根据达西定律, 球形流动关系为:

$$q = \frac{4\pi r^2 K}{\mu} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (1-3)$$

式中 K ——地层的渗透率, mD(1mD=10⁻³μm²);

μ ——流体粘度, Pa·s;

p ——压力, bar(1bar=10⁵Pa)。

把式(1-2)代入式(1-3), 当流体为不可压缩时:

$$\frac{\partial}{\partial r^2}\left(r^2 \frac{\partial p}{\partial r}\right) = \frac{r^2 \phi \mu}{K \rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (1-4)$$

根据等温压缩率的定义可以导出:

$$C_i \frac{\partial p}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (1-5)$$

把式(1-4)代入式(1-5)可得不可压缩的球形流动公式:

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \frac{\partial p}{\partial r}) = \frac{\phi \mu C_i}{K} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (1-6)$$

流体流动呈球形流动，就意味着流体主要在靠近探测器周围的小体积中流动。在压降周期中，由于抽取少量流体，作用时间很短，通常很快就能达到稳定流动的条件，即：

$$\frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad (1-7)$$

其边界条件为：

$$p|_{r=r_w} = p_i \quad (1-8)$$

$$p|_{r=r_b} = p_s \quad (1-9)$$

这时，球形流动方程式(1-6)可以写为：

$$\frac{\partial}{\partial r} (r^2 \frac{\partial p}{\partial r}) = 0 \quad (1-10)$$

积分得：

$$r^2 \frac{\partial p}{\partial r} = C_1 \quad (1-11)$$

在外边界处，有：

$$r^2 \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\mu q}{4\pi K} = C_1 \quad (1-12)$$

于是式(1-11)可写成：

$$r^2 \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\mu q}{4\pi K}$$

或

$$dp = \frac{\mu q}{4\pi K} \frac{1}{r^2} dr \quad (1-13)$$

从式(1-13)可以看出，测试压力只是 r 的简单函数。对式(1-13)积分得：

$$\int_{p_i}^{p_s} dp = \int_{r_w}^{r_b} \frac{\mu q}{4\pi K} \frac{1}{r^2} dr \quad (1-14)$$

即：

$$\Delta p = p_s - p_i = \frac{\mu q}{2\pi K r_w} \left(1 - \frac{r_w}{r_b}\right)$$

式中 p_s ——地层压力，bar；

p_i ——预测试室压力，bar；

r_w ——点源半径，即取样管金属口的半径，很小，cm；

r_b ——压力扰动的外半径，cm；

K ——地层渗透率，mD；

q ——预测试室的平均流量，cm³/s；

μ ——流体粘度，cP(1 cP=10⁻³ Pa·s)。

对于 μ ，若是单相流动，可对流体直接测定；若是多相流体，确定混合液的 μ 较困难，一般采用平均值法确定：

$$\mu = (V_o \mu_o + V_g \mu_g + V_w \mu_w) / (V_o + V_g + V_w)$$

由于 $r_b \gg r_w$ ，有 $r_w/r_b \rightarrow 0$ ，则：

$$K = \frac{q\mu}{\Delta p 2\pi r_w} \quad (1-15)$$