



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

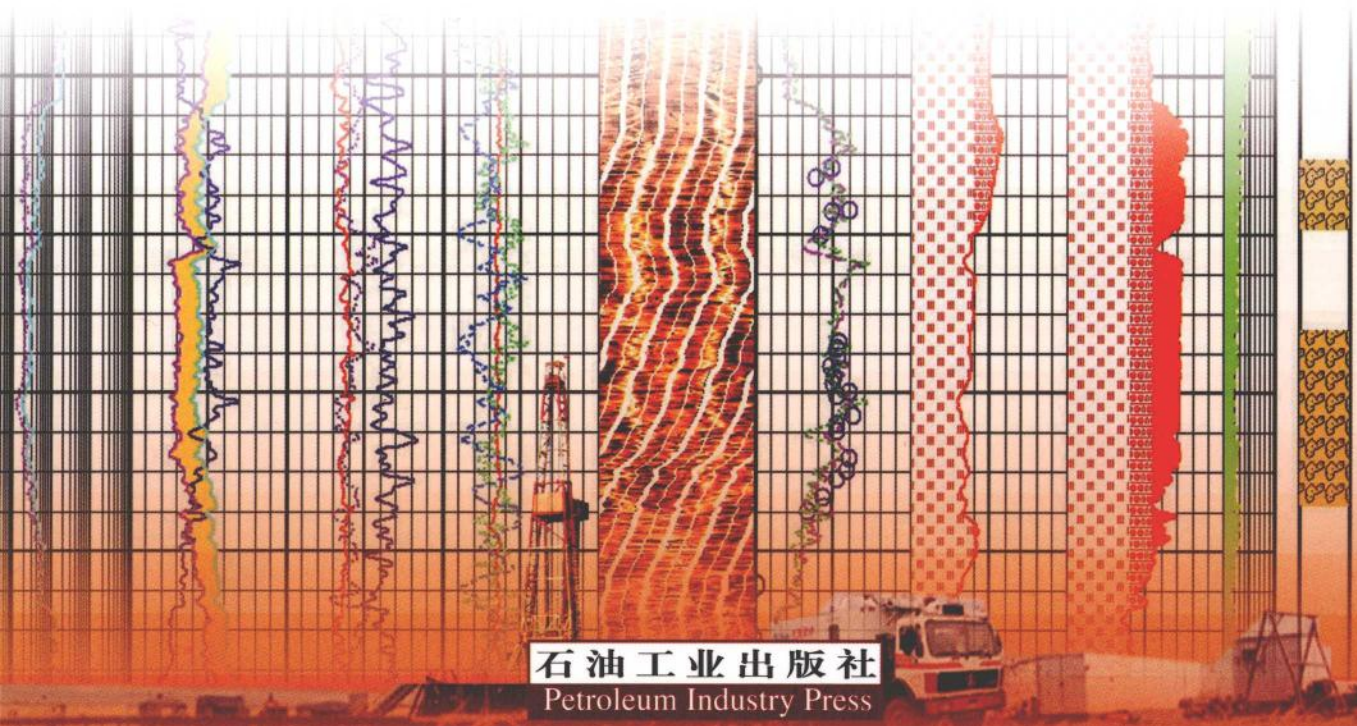
石油高职高专规划教材

石油测井

(第二版)

主 编 刘国范

副主编 樊宏伟 刘春芳



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
石油高职高专规划教材

石油测井

(第二版)

主 编 刘国范
副主编 樊宏伟 刘春芳

石油工业出版社

内 容 提 要

本书着重介绍了石油测井的有关知识,包括勘探测井方法、生产测井方法、测井资料的定性解释,并对钻采地质资料的搜集也进行了简要介绍。

本书适用于高职高专院校油气开采技术专业、钻井技术、井下作业技术等非测井专业教学使用,也可作为测井专业的概论课程及现场技术人员培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

石油测井/刘国范主编. —2版.

北京:石油工业出版社,2010.3

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·石油高职高专规划教材)

ISBN 978-7-5021-7656-3

I. 石…

II. 刘…

III. 油气测井-高等学校:技术学校-教材

IV. TE151

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 027373 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)64523574 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:中国石油报社印刷厂

2010年3月第2版 2010年3月第4次印刷

787×1092毫米 开本:1/16 印张:11.25

字数:280千字

定价:18.00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

第二版前言

本书是普通高等教育“十一五”规划教材和石油高职高专规划教材,是1990年石油工业出版社出版的《石油测井》的第二版。本书较系统地阐述了石油测井相关知识及其应用方法,包括勘探测井方法、生产测井方法、测井资料的综合解释基础、测井资料的定性解释方法,并对钻采地质资料的搜集方法等实际应用领域,尤其是20世纪90年代以后出现的新技术、新方法进行了介绍,在知识的深度和广度上更加符合高等职业教育的特点。

本书由大庆职业学院刘国范担任主编,克拉玛依职业技术学院樊宏伟和大庆职业学院刘春芳任副主编。绪论、第十二章由刘国范编写;第八章、第九章由樊宏伟编写;第七章、第十章和第十一章由刘春芳编写;第一章由渤海石油职业学院王福生编写;第二章由天津石油职业技术学院刘建敏编写;第三章由渤海石油职业学院孙建华编写;第四章由天津石油职业技术学院袁秀荷编写;第五章由松原职业技术学院曹凤敏编写;第六章由松原职业技术学院高淑文编写;第十三章由重庆科技学院刘静编写。

教材编写过程中得到了参编院校和相关油田的大力支持,大庆职业学院吕桂友老师在教材统稿阶段做了大量工作,在此一并表示感谢。

由于篇幅所限,有些新技术和内容没有详尽表述,本书存在的缺陷和不足之处敬请读者批评指正。

编 者

2009年12月

第一版前言

本书是根据中国石油天然气总公司人教部(原石油工业部教育司)1986年11月制定的中等专业学校石油开采专业“石油测井(原定名采油地质)教学大纲”编写的。它是该专业的一门专业课程。主要包括:常用的各种测井方法的原理及应用;钻采地质资料的收集、整理及图表介绍;油层对比及储量计算等。

本书由大庆石油学校负责编写,郝金泽、刘国范任主编。郝金泽编写第一、二、十二、十三章,何志平编写第三、四、五、六章,刘国范编写第七、八、九、十、十一章。

全书由大庆石油学院李占诚副教授主审。张守谦、张淑梅、李茂林副教授参加了审阅和指导,梅曦同志帮助绘制了全部插图,在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平所限,参加实践不足,在教材中一定有不少缺点和错误,敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	(1)
第一章 自然电位测井	(3)
第一节 井内自然电位产生的原因	(3)
第二节 自然电位曲线的形状	(5)
第三节 自然电位曲线的影响因素	(6)
第四节 自然电位曲线的应用	(8)
复习思考题	(9)
第二章 普通电阻率测井	(11)
第一节 岩石电阻率	(11)
第二节 普通电阻率测井原理	(16)
第三节 视电阻率曲线的特点	(21)
第四节 视电阻率曲线的影响因素	(25)
第五节 横向测井及其应用	(28)
复习思考题	(31)
第三章 侧向测井	(32)
第一节 三电极侧向测井	(32)
第二节 七电极侧向测井和双侧向测井	(35)
复习思考题	(40)
第四章 微电阻率测井	(41)
第一节 微电极测井	(41)
第二节 微侧向测井和邻近侧向测井	(44)
第三节 微球形聚焦测井	(46)
复习思考题	(48)
第五章 感应测井	(50)
第一节 感应测井原理	(50)
第二节 感应测井曲线的应用	(54)
复习思考题	(59)
第六章 声波测井	(60)
第一节 岩石的声学特性	(60)
第二节 声波速度测井	(62)

第三节 声波幅度测井	(68)
复习思考题	(71)
第七章 成像测井	(73)
第一节 电成像测井	(73)
第二节 声波成像测井	(79)
复习思考题	(83)
第八章 伽马测井	(84)
第一节 伽马测井的核物理基础	(84)
第二节 自然伽马测井	(87)
第三节 密度测井	(91)
复习思考题	(94)
第九章 中子测井	(95)
第一节 中子测井的核物理基础	(95)
第二节 中子—中子测井	(96)
第三节 中子伽马测井	(102)
第四节 其他中子测井	(103)
复习思考题	(107)
第十章 其他测井方法及其资料应用	(109)
第一节 裸眼井井径测井	(109)
第二节 生产井井径测井	(110)
第三节 地层倾角测井	(112)
第四节 注入剖面测井	(115)
第五节 产出剖面测井	(121)
复习思考题	(124)
第十一章 测井资料的综合解释基础	(126)
第一节 储集层分类及其特点	(126)
第二节 评价储集层的基本参数	(127)
第三节 测井系列的选择	(130)
复习思考题	(132)
第十二章 测井资料的定性解释	(133)
第一节 利用测井资料划分储集层、确定岩性	(133)
第二节 利用测井资料划分渗透性地层	(135)
第三节 利用测井资料定性判断油(气)、水层和水淹层	(137)
第四节 利用测井曲线进行地层对比	(141)

复习思考题	(154)
第十三章 钻采地质资料的搜集和整理	(155)
第一节 钻井过程中地质资料的搜集和整理	(155)
第二节 完井测井、井壁取心、试油试采地质资料	(165)
复习思考题	(167)
参考文献	(168)

绪 论

一、石油测井的概念

地球物理测井是应用地球物理学的一个重要分支,即以物理学、数学、地质学为理论基础,采用先进的电子、传感器、计算机和数据处理等技术,借助专门的探测仪器设备,沿钻井剖面观测岩层的物理性质,以了解井下地质情况的一门应用技术学科。

石油测井是指在油气田勘探、开发阶段,用专门的测井仪器测量钻井剖面的各种参数并对这些参数进行分析和处理,用于对地层特征、储层状况进行分析,确定油气层及井内工程各种参数的一门科学。

二、石油测井的分类

石油测井分类方法有多种,一般按照测量机理划分测井方法。

石油测井按测量机理分为电法测井、声波测井、放射性测井、其他测井。

电法测井包括自然电位测井、普通电阻率测井、侧向测井、感应测井、微电阻率测井等。

声波测井包括声幅测井(固井声幅测井、声波变密度测井、超声波电视测井等)、声速测井(补偿声速测井、高分辨率声速测井等)。

放射性测井包括伽马测井、中子测井、密度测井、放射性同位素测井、核磁共振测井等。

其他测井包括井径测井、电磁波测井、地层倾角测井、成像测井、温度测井、压力测井、流量测井、持水率测井等。

三、石油测井的目的、任务及应用

石油测井是石油勘探、开发的“眼睛”。在油气田勘探、开发的不同阶段,石油测井的目的和任务是不同的。一般来说,裸眼井测井(下套管之前的井称裸眼井,因此下套管之前进行的测井称为裸眼井测井)的主要目的和任务是发现和评价油气层的储集性能及生产能力;而生产测井(油水井投入生产以后进行的测井称为生产测井)的主要目的是监视和分析油气层的开发动态及生产状况。常规勘探测井方法一般有 10~12 条曲线(加上特殊测井方法,可以达到 20 条曲线),可测量岩石的电性参数、放射性参数、声学参数、电磁参数、地层产状参数、核磁共振特性等。开发测井是指在油气田整个开发期间进行的所有测井项目。开发测井的主要对象为裸眼完成的生产井和下套管的生产井,用于分析目前的生产动态及井内技术状况。

在勘探阶段,石油测井的主要应用有:

- (1) 划分岩性,确定渗透层并进行地层对比。
- (2) 判断油、水层。
- (3) 综合解释有关参数及油气的地质储量。
- (4) 判断和指导固井质量和井身工程。
- (5) 进行地层对比,绘制相关地质图件。
- (6) 指导打直井、斜井、定向井。

在开发阶段,石油测井的主要应用有:

- (1) 监测油、水井动态情况。
- (2) 诊断生产异常,提出解决方案。

(3) 检验油井生产情况。

(4) 预测油井生产动态。

四、石油测井的发展

测井技术的发展可以划分为五个阶段:第一阶段(20 世纪 20 ~ 40 年代),半自动测井;第二阶段(20 世纪 40 ~ 60 年代),全自动测井;第三阶段(20 世纪 60 ~ 70 年代),数字测井;第四阶段(20 世纪 70 ~ 80 年代),数控测井;第五阶段(20 世纪 90 年代以来),成像测井。

1927 年 9 月,由法国的马科尔(Marcel)和科纳德·斯伦贝谢兄弟发明的电阻率测井仪器在法国皮切尔布朗进行首次应用。我国的测井工作相对晚了十多年,1939 年 12 月 20 日,我国著名的地球物理勘探专家翁文波首次在四川石油沟一号井测出一条电阻率曲线和一条自然电位曲线,并划分出了气层的位置。随着油气田勘探的不断进行及电子技术、计算机技术的进步,石油测井得到了迅速发展。20 世纪 50 年代,普通电阻率测井已经比较完善,但由于没有岩性孔隙度测井,人们只能根据测井曲线的特征及相对幅度,参考各种地质资料,定性地判断地层的岩性、孔隙性、渗透性和含油性,划分油、气、水层。20 世纪 60 年代,孔隙度测井逐步完善,各类聚焦电阻率测井仪器也得到了发展,但由于采用纯岩石解释模型,用声波测井资料计算孔隙度,用阿尔奇公式计算含水饱和度,计算的准确性受到限制,此时的测井解释处于半定量的解释阶段。20 世纪 70 ~ 80 年代,有了更完善的测井系列和计算机处理测井资料以后,可以采用泥质单矿物(泥质砂岩)岩石模型,运用交会图和迭代法等数字处理技术,对泥质和油气密度等影响因素进行校正,定量计算地层的泥质含量、孔隙度、渗透率和油气饱和度等储层参数值及矿物成分的相对体积,使测井解释达到自动定量解释和自动显示形象直观的解释成果的现代化水平,实现了较为全面的定量解释与地层评价及油气分析。1986 年,成像测井问世。20 世纪 90 年代初,成像测井系统开始投入生产,使裂缝、井壁及附近介质的直观评价成为可能。随着计算机技术的迅猛发展,近年来,井场快速测量、快速解释平台的出现使石油测井技术及其应用达到了新的高度。

第一章 自然电位测井

[本章提要] 自然电位测井是油田常规测井方法之一,属于电法测井的范畴。自然电位测井的测量机理是:岩层被钻穿后,对应不同岩性,在井壁附近形成的扩散、吸附电位大小和方向存在差异,这些差异可以用来划分岩性、研究储层性质。本章主要介绍自然电位的形成机理、自然电位曲线形态、影响因素分析和解释应用。

第一节 井内自然电位产生的原因

自然电位测井测量的是自然电位(在没有人工供电的情况下)随井深变化的曲线,其原理线路如图1-1所示。

井内自然电位产生的原因是复杂的,对于油井来说,主要有以下两个方面:一是地层水矿化度和钻井液滤液矿化度不同,引起离子的扩散作用和泥岩颗粒对离子的吸附作用;二是地层压力与钻井液柱压力不同,在地层孔隙中产生的过滤作用。这些作用主要取决于岩石的成分、岩石的组织结构、地层水和钻井液的物理化学性质。

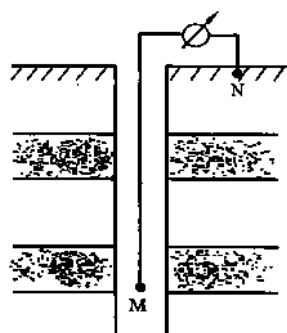


图1-1 自然电位测量原理

一、扩散吸附电位

井内自然电位是两种不同浓度的溶液相接触的产物。地层被钻穿后,由于钻井液滤液的浓度不同于地层水溶液的浓度(通常称矿化度),它们之间就产生了离子的扩散作用,在井壁附近形成稳定的电动势。

假定钻井液滤液和地层水溶液所含的盐类都是氯化钠(NaCl),当地层水溶液的浓度大于钻井液滤液的浓度时,在砂岩层处扩散作用的结果是:地层水内富集正电荷,钻井液滤液内富集负电荷,如图1-2所示。井壁上产生的扩散电动势 E_d 可用下式表示:

$$E_d = K_d \lg \frac{C_w}{C_m} \quad (1-1)$$

式中 C_w, C_m ——地层水和钻井液滤液的浓度, g/L;

K_d ——扩散电位系数, mV (它与溶液中盐类的化学成分和温度有关, NaCl 溶液在 25°C 时, $K_d = -11.6$ mV);

E_d ——扩散电动势, mV。

当溶液浓度不很高时,溶液浓度与电阻率成反比关系,则式(1-1)可写成:

$$E_d = K_d \lg \frac{R_m}{R_w} = -11.6 \lg \frac{R_m}{R_w} \quad (1-2)$$

式中 R_w, R_m ——地层水和钻井液滤液的电阻率, $\Omega \cdot m$ 。

在泥岩层,由于粘土矿物表面具有选择吸附负离子的能力,只有正离子可以在地层水中自由移动。因此,当地层水矿化度大于钻井液滤液矿化度时,在泥岩与钻井液的接触面上,井内

钻井液带正电荷,泥岩层内带负电荷,如图 1-3 所示。这时形成的电动势称扩散吸附电动势,以 E_{da} 表示。

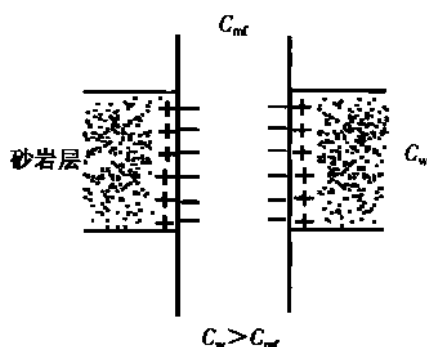


图 1-2 砂岩与钻井液接触面上的电荷分布

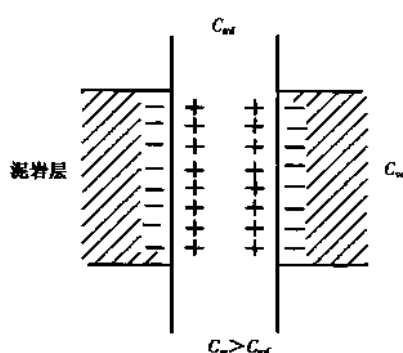


图 1-3 泥岩与钻井液接触面上的电荷分布

根据实验结果和理论分析,在泥岩井壁上产生的扩散吸附电动势 E_{da} 可由下式表示:

$$E_{da} = K_{da} \lg \frac{C_w}{C_{mf}} = K_{da} \lg \frac{R_{mf}}{R_w} \quad (1-3)$$

式中 K_{da} ——扩散吸附电位系数, mV (其大小和符号主要决定于岩石颗粒的大小及化学成分,也和溶液的化学成分、温度等因素有关,可用实验求出)。

对于 NaCl 溶液,在 25℃ 时, $K_{da} = 59.1 \text{ mV}$, 代入式 (1-3), 得:

$$E_{da} = 59.1 \lg \frac{R_{mf}}{R_w} \quad (1-4)$$

由于泥岩具有选择吸附作用,使一种离子容易通过,另一种离子不易通过,它好像离子选择薄膜一样,因此通过泥岩所产生的扩散吸附电位又称为薄膜电位。

二、过滤电位

在压力差的作用下,当溶液通过毛细管时,由于毛细管壁吸附负离子,使溶液中正离子相对增多,则在毛细管的两端产生电位差,压力低的一方带正电,压力高的一方带负电,于是产生了电位差,如图 1-4 所示。

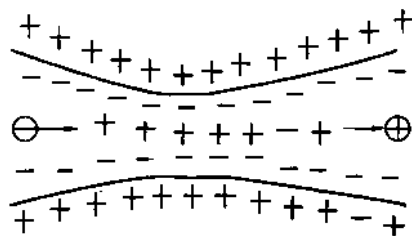


图 1-4 过滤电位形成示意图
箭头方向表示液体流动方向

当钻井液柱的压力大于地层的压力时,在渗透层处,过滤电位与扩散吸附电位方向一致,过滤电位以 E_f 表示。过滤电位的数值与地层和钻井液柱之间的压力差及过滤溶液的电阻率成正比,与过滤溶液的粘度成反比,可由下式表示:

$$E_f = K_f \frac{\Delta p \cdot R_{mf}}{\mu} \quad (1-5)$$

式中 Δp ——压力差, atm (1 atm = 101325 Pa);

R_{mf} ——过滤溶液电阻率, $\Omega \cdot m$;

μ ——过滤溶液粘度, cP;

K_f ——过滤电位系数, 与溶液的成分浓度有关, mV。

第二节 自然电位曲线的形状

在钻穿地层的过程中, 地层水与钻井液相接触, 产生扩散吸附作用, 在钻井液与地层接触面上产生自然电位。下面以夹在厚层泥岩中的砂岩为例分析自然电位曲线的形状。

一、井内自然电场的分布

若砂岩的地层水矿化度为 C_2 , 泥岩的地层水矿化度为 C_1 , 钻井液滤液的矿化度为 C_{mf} , 在一般情况下, $C_1 > C_2 > C_{mf}$, 井内自然电位的分布如图 1-5 所示。

在砂岩和井内钻井液的接触面上, 由于扩散作用产生的扩散电动势 E_d 为:

$$E_d = K_d \lg \frac{C_2}{C_{mf}} \quad (1-6)$$

在泥岩和井内钻井液的接触面上, 由于扩散吸附作用产生的扩散吸附电动势 E_{da} 为:

$$E_{da} = K_{da} \lg \frac{C_1}{C_{mf}} \quad (1-7)$$

在泥岩和砂岩的接触面上, 由于扩散吸附作用产生的扩散吸附电动势 E_{da} 为:

$$E_{da} = K_{da} \lg \frac{C_1}{C_2} \quad (1-8)$$

在井与砂岩、泥岩的接触面上, 自然电流回路的总自然电动势 E_n 是每个接触面上自然电动势的代数和, 即:

$$\begin{aligned} E_n &= K_d \lg \frac{C_2}{C_{mf}} + K_{da} \lg \frac{C_1}{C_{mf}} - K_{da} \lg \frac{C_1}{C_2} = K_d \lg \frac{C_2}{C_{mf}} + K_{da} \left(\lg \frac{C_1}{C_{mf}} - \lg \frac{C_1}{C_2} \right) \\ &= K_d \lg \frac{C_2}{C_{mf}} + K_{da} \lg \frac{C_2}{C_{mf}} = (K_d + K_{da}) \lg \frac{C_2}{C_{mf}} = K \lg \frac{C_2}{C_{mf}} \end{aligned} \quad (1-9)$$

式中 K ——自然电位系数, mV。

对于纯砂岩和泥岩地层, 其地层水和钻井液滤液的盐类为氯化钠。经实验证实, 自然电位系数在 25℃ 时, $K = 70.7 \text{ mV}$, 代入式 (1-9) 得:

$$E_n = 70.7 \lg \frac{C_2}{C_{mf}} \quad (1-10)$$

在溶液的浓度不很大时, 可以认为电阻率与浓度成反比, 则式 (1-10) 可写成:

$$E_n = 70.7 \lg \frac{R_{mf}}{R_2} \quad (1-11)$$

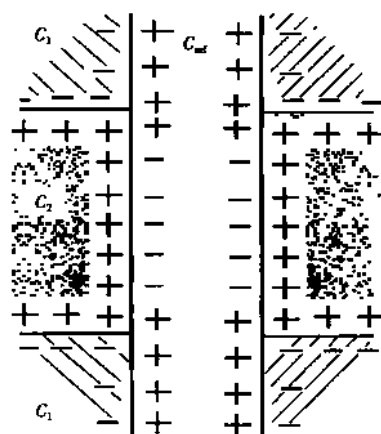


图 1-5 砂泥岩交界面处自然电场的分布

式中 R_{mf} ——钻井液滤液电阻率, $\Omega \cdot m$;

R_2 ——砂岩地层水电阻率, $\Omega \cdot m$ (以下用 R_w 表示)。

如果砂岩含有泥质或者泥岩不纯,将使总的自然电动势减小,不能按式(1-11)计算砂泥岩接触面上回路的总自然电动势。

二、自然电位的曲线形状

在砂岩井壁、泥岩井壁以及砂泥岩接触面上,存在着自然电动势。砂岩、泥岩和钻井液具有导电性,它们构成闭合回路,形成自然电流。自然电位测井记录的是自然电流在井内钻井液段的电位降。自然电位理论曲线如图 1-6 所示($C_w > C_{mf}$)。

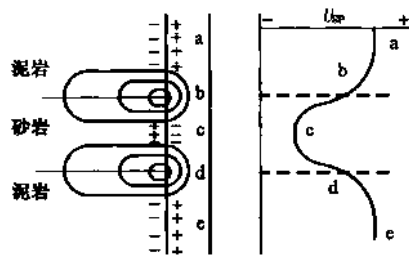


图 1-6 井内自然电场分布
与自然电位曲线形状

在 a 点以上,离开砂岩较远的泥岩上,自然电流很小,几乎没有什么变化,可以认为是自然电位的零线,称为自然电位的泥岩基线。

在 ab 段,电流强度逐渐增加,自然电位逐渐降低,曲线向负的方向偏转。

在 b 点,对应泥岩层与砂岩层交界面,井内自然电流强度最大,电位变化也最大,自然电位曲线急剧向负方向偏转。

在 bc 段,过了地层界面,电流密度又逐渐减小,电位继续降低。

在 c 点,对应于地层中心,电流强度最小,自然电位曲线几乎是与井轴成平行的直线。

在 cd 段,在砂岩层的下部,自然电流强度逐渐增加,自然电位逐渐增大,曲线向正方向偏转。

在 d 点,对应于砂泥岩层的交界面处,电流密度最大,自然电位曲线急剧向正方向偏转。

在 de 段,过了交界面,再向下到泥岩层,自然电位值逐渐增大,在大段泥岩处记录的自然电位接近直线。

如果泥岩岩性稳定,厚度足够大,就把以 a、e 两点连线作为基线,从基线到 c 点所对应的幅度称为异常幅度,其大小反映了砂岩的渗透性好坏。当地层水矿化度大于钻井液滤液矿化度时,渗透性地层的异常幅度偏向泥岩基线的左边(显示为负异常);反之,渗透性地层的异常幅度偏向泥岩基线的右边(显示为正异常)。

综上所述,自然电位曲线具有如下特点:

- (1) 如果地层、井内钻井液是均匀的,上下围岩岩性相同,曲线关于渗透性地层中心对称。
- (2) 在渗透性地层顶、底界面处,自然电位变化最大,曲线急剧偏移。
- (3) 测量的自然电位幅度永远小于自然电流回路总的电动势。
- (4) 当地层水矿化度大于钻井液滤液矿化度时,曲线出现负异常;反之,曲线出现正异常。

第三节 自然电位曲线的影响因素

砂岩、泥岩、钻井液具有导电性,其等效电路如图 1-7 所示。设 r_m 为井内钻井液的等效电阻, r_n 为泥岩的等效电阻, r_s 为砂岩的等效电阻,则回路的电流强度由下式决定:

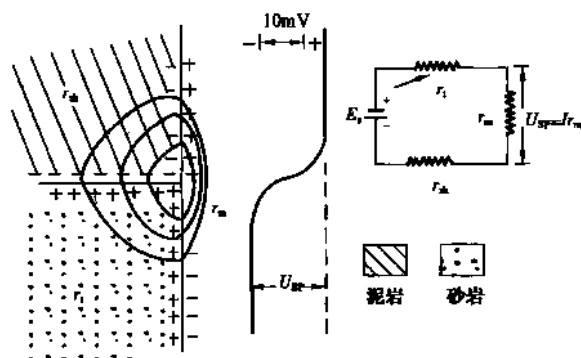


图 1-7 自然电位等效电路

$$I = \frac{E_s}{r_m + r_{ab} + r_i} \quad (1-12)$$

测量的自然电位异常幅度值 U_{SP} 实际上等于自然电流流过井内钻井液电阻上的电位降, 即:

$$U_{SP} = I r_m = \frac{E_s}{r_m + r_{ab} + r_i} r_m = \frac{E_s}{1 + \frac{r_{ab} + r_i}{r_m}} \quad (1-13)$$

自然电位幅度值 U_{SP} 是自然电位总电动势的一部分, 记为 SP。自然电位的总电动势 E_s , 相当于回路断路时的电压。纯水层砂岩的总电动势常称为静自然电位, 用 SSP 表示。

由式(1-12)可以看出, 测量的自然电位幅度值 U_{SP} 与 r_m 、 r_{ab} 、 r_i 、总的自然电动势 E_s 有关。以下根据式(1-13)讨论影响自然电位异常幅度的主要因素。

一、岩性、地层水与钻井液滤液矿化度比值的影响

自然电位异常幅度值 U_{SP} 与总自然电动势 E_s 成正比, 而 E_s 决定于地层的岩性和钻井液滤液电阻率 R_m 与地层水电阻率 R_w 的比值 R_m/R_w 。因此, 岩性越纯, R_m/R_w 越大, 自然电位异常幅度值越高。

二、地层厚度、井径的影响

由图 1-8 可见, 假设其他条件完全相同, 当地层厚度 (h) 大于 4 倍井径 (d) 即 $h > 4d$ 时, 自然电位异常幅度近似等于静自然电位, 能用半幅点 (即曲线上波峰和波谷的 1/2 幅度处) 确定地层界面; 当 $h < 4d$ 时, 自然电位异常幅度小于静自然电位, 厚度越小, 异常顶部越窄, 底部越宽, 不能用半幅点确定地层界面。因为 h 减小, r_i 增大, r_m 减小, 所以 U_{SP} 减小。若地层厚度一定时, 井径减小, h/d 增大, r_m 增大, 则 U_{SP} 增大。

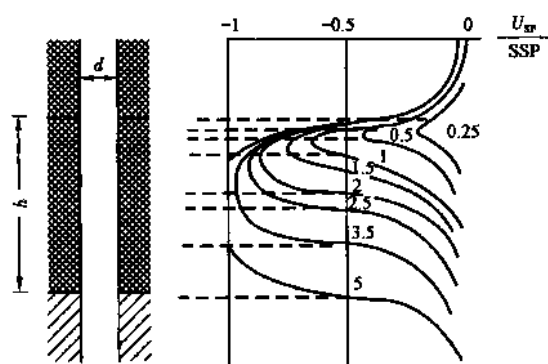


图 1-8 不同地层厚度砂岩的自然电位理论曲线

三、地层电阻率 R_i 、钻井液滤液电阻率 R_m 以及围岩电阻率 R_s 的影响

随着 R_i/R_m 的增大, 自然电位幅度值降低。围岩电阻率 R_s 变化, 同样对自然电位异常幅度有影响。围岩电阻率 R_s 增大, 使自然电位幅度值减小。

四、侵入带的影响

在渗透层地层,钻井液滤液侵入到地层孔隙中,使钻井液滤液与地层水的接触面向地层方向移动了一定距离(相当于井径扩大的影响),从而使自然电位异常幅度降低。

在砂、泥岩交互层地区,渗透性砂岩中薄泥岩夹层的存在使自然电位曲线上有小的起伏,起伏的大小与夹层的厚度和夹层电阻率有关。

第四节 自然电位曲线的应用

一、自然电位曲线的定性解释

1. 判断岩性

在砂泥岩剖面中,以泥岩的自然电位为基线,如果砂岩地层的岩性由粗变细,泥质含量增加,则表现为自然电位幅度值降低。根据自然电位曲线可以清楚地划分泥岩、砂岩、泥质砂岩。

2. 确定渗透性地层

自然电位曲线异常幅度的大小可以反映渗透性好坏,通常砂岩的渗透性与泥质含量有关,泥质含量越小,其渗透性越好,自然电位异常幅度值越大。

3. 确定储集层界面

对于岩性均匀、厚度较大、界面清楚的储集层,通常用SP异常幅度的半幅点确定储集层界面;如果储集层厚度较小,则不能用半幅点确定储集层界面。

4. 判断水淹层位

水淹层在自然电位曲线上显示的特点较多,要根据每个地区的实际情况进行分析。注入淡水的水淹层(油层底部或顶部见水)在自然电位曲线上显示的基本特点是自然电位基线在该层上、下界面处发生偏移,如图1-9所示。

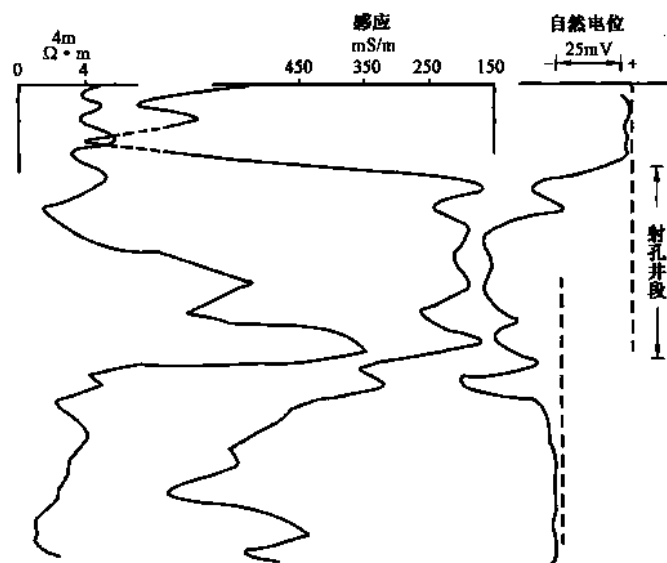


图1-9 用自然电位判断水淹层

5. 地层对比

地层是某一特定沉积环境的沉积作用的产物,具有该环境特有的沉积特征,其 SP 曲线常常表现出来,因此 SP 曲线可作为单层划相、井间对比的依据之一。

二、估计地层的泥质含量

在一个地区,根据具体条件,利用实验和数理统计方法,可以直接建立起自然电位和泥质含量之间的关系,或者建立起含泥质地层与纯砂岩层的自然电位比值同泥质含量之间的关系。找出这种关系式或关系曲线,就可直接根据自然电位曲线确定地层的泥质含量。

1. 基线对比法

碎屑岩随着泥质含量的增加,自然电动势减小,SP 曲线幅度减小。以完全含水、厚度足够大的水层的静自然电位 SSP 为标准,画出一条直线平行于泥岩基线,各层的 SP 异常与 SSP 直线差距越大,则泥质含量越大。

这种方法的优点是:地层完全含水、厚度很大或在淡水钻井液的砂泥岩剖面,估算的值与实际值比较接近。这种方法的缺点是:地层含油(气)、厚度变薄、钻井液侵入等原因会引起 SP 减小,估计的泥质含量值都大于实际值。

2. 计算法

地层的 SP 与 SSP 的差别与泥质含量有关,通常把泥质含量表示为:

$$V_{sh} = 1 - \frac{SP}{SSP} \quad (1-14)$$

式中 V_{sh} ——地层泥质含量,小数;

SP——解释层的 SP 幅度,mV;

SSP——解释井段的静自然电位,mV。

为了求取地层的泥质含量,必须取得 SP/SSP 值。该值可用斯伦贝谢制作的校正图版进行查取。

由于自然电位测量受侵入带直径 d_i 、井径 d 、冲洗带电阻率 R_{xo} 、地层厚度 h 、地层电阻率 R_t 、围岩电阻率 R_s 和钻井液电阻率 R_m 等因素的影响,需要利用相应图版对其进行校正,这里不予详述。

三、计算地层水电阻率

假定自然电位只是由扩散吸附作用产生的,根据已知的岩层电阻率、地层厚度、钻井液电阻率、围岩电阻率和侵入带等数据,把自然电位异常幅度 U_{sp} 校正到静自然电位 SSP,利用关系式 $E_s = K \lg \frac{R_{mf}}{R_w}$ 和已知的钻井液滤液电阻率 R_{mf} 、自然电位系数 K 便可求出地层水电阻率。

复习思考题

一、名词解释

自然电位 扩散电位 吸附电位 泥岩基线 半幅点

二、判断题(如果不正确,分析错误原因并改正)

1. 在井壁附近,砂岩和泥岩对应处形成的自然电位大小相等。